

Személyi expozíció mérése az elektromágneses spektrum rádiófrekvenciás és mikrohullámú tartományában

DOKTORI ÉRTEKEZÉS

Bánréviné Finta Viktória Tímea



FIZIKA DOKTORI ISKOLA

STATISZTIKUS FIZIKA, BIOLÓGIAI FIZIKA ÉS KVANTUMRENDSZEREK FIZIKÁJA DOKTORI
PROGRAM

ISKOLAVEZETŐ: Dr. Horváth Zalán/Dr. Csikor Ferenc

PROGRAMVEZETŐ: Dr. Vicsek Tamás/Dr. Kürti Jenő

TÉMAVEZETŐ: Dr. Kiss Ádám, egyetemi tanár, MTA doktora

SZAKMAI VEZETŐ: Dr. Thuróczy György

Eötvös Loránd Tudományegyetem

Természettudományi Kar

Atomfizikai Tanszék

Budapest

2012

Tartalom

Rövidítések (a szövegben *-gal jelöltek).....	4
Fogalmak (szövegbeli megjelenésük sorrendjében).....	9
Jelölések	12
I. RÉSZ: Bevezetés	13
1. Bevezetés	13
1.1. Problémafelvetés.....	13
1.2. Háttér.....	14
1.3. Előzmények	15
1.4. Célkitűzések	16
II. RÉSZ: Szakirodalmi háttér.....	18
2. Fizikai háttér.....	18
2.1. Nem-ionizáló elektromágneses sugárzások	18
2.2. RF és MH	19
2.3. Expozimetria.....	22
3. Biológiai- és egészségi hatások	28
3.1. Általános ismeretek.....	28
3.2. Vizsgálatok	30
3.3. Sugárvédelem	36
4. A személyi expozícióbecslés módszertana	39
4.1. Expozícióbecslés.....	39
4.2. Adatgyűjtés.....	46
4.3. Az adatfeldolgozás.....	53
4.4. Kiértékelés	61
III. RÉSZ: Az önálló kutatómunka során végzett saját felmérések	65
5. Egyetemisták expozíciója	65
5.1. Bevezetés.....	65
5.2. Anyag és Módszer	66
5.3. Eredmények.....	68
5.4. Diskusszió.....	78
5.5. Az egyetemisták felméréséhez kapcsolódó eredmények: Nemzetközi összehasonlítás és SAR számolása	83
6. Bázisállomások közelében élők expozíciója	86

6.1. Bevezetés.....	86
6.2. Anyag és módszer.....	86
6.3. Eredmények.....	88
6.4. Diskusszió.....	92
7. Óvodások expozíciója.....	95
7.1. Előzmény: egy magyar óvodai tanulmány.....	95
7.2. Bevezetés.....	98
7.3. Anyag és módszer.....	98
7.4. Eredmények.....	99
7.5. Diskusszió.....	102
8. Összefoglalás.....	106
9. Summary.....	109
Köszönetnyilvánítás.....	110
Irodalomjegyzék.....	112
Melléklet.....	120
1. számú melléklet: a határértékekre vonatkozó minisztériumi rendelet.....	120
2. számú melléklet: a dokumentációs csomag.....	127
3. számú melléklet: demonstráló ábrák az eredményekhez.....	130

Rövidítések (a szövegben *-gal jelöltek)

ALARA: As Low As Reasonably Achievable – A sugárdózis legyen olyan alacsony, amilyen ésszerűen lehetséges.

AM: Amplitude Modulated – Az amplitúdó-moduláció a jelátvitelben az amplitúdó változtatása, mely ezáltal az átviendő információt hordozza. Egy rádiófrekvenciás jelre több módon lehet az információt ráültetni, ennek egyik módja, ha a jel amplitúdóját változtatjuk.

ANOVA: ANalysis Of VAriance – A variancia-analízis számos, egyező szórású, normál eloszlású csoport átlagának összevetésére alkalmas statisztikai módszer, melyet azonban bizonyos feltételekkel nem normál eloszlás esetén is használhatunk.

DL: Detection Limit – A műszerek alsó méréshatára, mely alatti nagyságú értékeket nem regisztrálja. Az általam használt műszerek esetén ez 0,05 vagy 0,01 V/m volt.

EDGE: Enhanced Data rates for GSM Evolution – Adat-átviteli technológia, melynek célja a GPRS hálózatok megerősítése, akár 236 kbit/s-os adatátviteli sebességre is képes. Ma főként kisebb településeken és mobiltelefonon alkalmazzák a 3G alternatívájaként. 2,5G adatátvitelként is szokták emlegetni.

EEG: Electro Encefalo Graph – Az elektroencefalográfia tágabb értelemben véve egy pszichofiziológiai mérőeljárás, melynek segítségével a pszichés működés élettani hátterének vizsgálatára, a neuronok elektromos aktivitásának regisztrálására szolgál valós időben.

ELF: Extremely Low Frequency – Extrém alacsony frekvencia, 0–300 Hz tartomány, elsősorban az 50/60 Hz-re használjuk.

EMF: ElectroMagnetic Field – Elektromágneses tér, egymásra merőlegesen, periodikusan rezgő elektromos és mágneses tér, mely hullám formájában terjed fénysebességgel, energiát és impulzust szállítva.

ESzCsM: Egészségügyi, Szociális és Családügyi Minisztérium – Ma a Nemzeti Erőforrás Minisztérium Egészségügyért Felelős Államtitkársága.

ETSI: European Telecommunications Standards Institute – Európai Telekommunikációs Szabványok Intézete, non-profit szerveződés, amelynek fő feladata az Európai Unió érdekeivel, a vonatkozó határozatokkal és rendelkezésekkel összhangban lévő globális szabványok felállítása a telekommunikáció területén.

GPRS: General Packet Radio Service – Csomagkapcsolt adatátviteli technológia, mely nem terheli folyamatosan a hálózatot, csak a tényleges adatforgalom alatt. Az elméleti adatátviteli sebessége 53 kbit/s. Bár ma már egyre inkább kezd kiszorulni, de még a WAP-nál a mai napig alkalmazzák. 2G adatátvitelként is szokták emlegetni.

GPS: Global Positioning System – Globális Helymeghatározó Rendszer, egy, az egész világon használható műholdas helymeghatározó rendszer. Lehetővé teszi a pontos helyzetünk meghatározását a földfelszínen.

GSM: Global System for Mobile Communications, Groupe Spécial Mobile – Eredetileg az európai távközlési hatóságok által 1982-ben, az új mobilszabvány kidolgozására létrehozott csoportot nevezték franciául így: Groupe Spécial Mobile. A mobilkommunikáció második generációját képviselő rendszer, amelynek célja egy páneurópai rendszer kiépítése volt, de a rendszer mára valóban globálissá vált. A GSM a hagyományos, 900 MHz-es sávban a 890-915 és a 935-960 MHz között, 2 x 25 MHz sávszélességen működik, az 1800-as tartományban pedig a DCS szabvány szerint (1710-1785 és 1805-1880 MHz között, 2 x 75 MHz sávszélességen).

HSCSD: High Speed Circuit Switched Data – Egy mobiltelefon adatátviteli technológia, mely lehetővé teszi a nagysebességű adatátvitelt egy GSM hálózaton keresztül. Segítségével jóval gyorsabban és könnyebben lehet elérni az internet, intranet vagy más szolgáltatásokat, amelyek adatátvitelen alapulnak. Az elért sebesség 38,4 Kbps vagy 57,6 Kbps lehet.

IARC: International Agency for Research on Cancer – Nemzetközi Rákkutató Ügynökség, mely például a különböző ágensek rákkeltés szempontjából történő besorolását végzi.

ICNIRP: International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection – Az ENSZ Sugárvédelmi Bizottsága, ez adja ki a témával kapcsolatosan elfogadott ajánlásokat, többek között 1996-ban publikálta állásfoglalását a mobiltelefonokkal és

bázisállomásokkal kapcsolatban, majd 1998-ban általános ajánlást tett közzé az elektromágneses sugárzások határértékeiről.

ITU: International Telecommunication Union – Nemzetközi Távközlési Egyesület sok egyéb tevékenysége mellett szabványosította a 3. generációs globális mobilrendszereket, melynek a része a főleg Európában preferált UMTS.

LAN: Local Area Network – Helyi adathálózat, olyan számítógépes hálózat, amely egyetlen épületen belüli mérettől legfeljebb néhányszor tíz kilométer kiterjedésű területen található. Többnyire irodákban, gyárakban, üzemekben található, és alkalmas szerverek, személyi számítógépek, munkaállomások összekapcsolására, ezzel lehetővé téve a nyomtatók megosztott használatát, a levelezést és az üzenetküldést.

LSD: Least Significant Difference – Post hoc teszt, mely egy variancia-analízis elvégzése után megmutatja mely változók között áll fent szignifikáns különbség.

LTE: Long Term Evolution – Negyedik generációs mobil adatátviteli szabvány, melynek célja a Magyarországon is elterjedt harmadik generációs HSDPA hálózat továbbfejlesztése. A nagyfelbontású videótartalmak és egyéb, nagy sávszélességet igénylő szolgáltatások számára alakították ki. Míg a korábbi technológia 28 Mbit elméleti maximumot támogat, az LTE 326 Mbit átvételére képes 4x4 antennával, 20 MHz-es frekvenciatartományon.

NADA: Nondetects And Data Analysis – Dennis Helsel által kifejlesztett statisztikai módszer-csoport a természetben előforduló adatsorok elemzéséhez. Én az ezen alapuló R[®] szoftvercsomaggal egyenértékű Statistica[®] programot használtam.

OSSKI: Országos „Frédéric Joliot-Curie” Sugárbiológiai és Sugáregészségügyi Kutató Intézet – Az Állami Népegészségügyi és Tisztiorvosi Szolgálat tudományos háttérintézménye, amely – más témák mellett – a sugárzásokkal kapcsolatos egészségügyi problémákkal foglalkozik.

PEM: Personal Exposure Meter – Személyi expozíciómérő, mellyel az egyént érő elektromágneses besugárzás mértéke határozható meg.

RF-MH: RádióFrekvenciás és MikroHullámú – 300 kHz és 300 GHz közötti frekvenciájú elektromágneses tér.

ROS: Regression of Order Statistics – Egy log-normális közelítésen alapuló statisztikai becslő módszer.

SAR: Specific Absorption Rate – Fajlagosan elnyelt teljesítmény, azaz tömegegységenként és időegységenként elnyelt energia, mértékegysége W/kg.

UHF: Ultra High Frequency – Ultra magas frekvencia, 300 MHz-3 GHz frekvenciájú hullámok.

URH: Ultra Rövid Hullám – 30 és 300 MHz közötti frekvenciájú hullámok, melyek a fényhez hasonlóan viselkednek: egyenes vonalban terjednek, nyalábolhatók, visszaverődnek. Terjedésüket a domborzat korlátozza, ezért az URH adóantennákat magas tornyokon vagy hegytetőkön helyezik el a „rálátás” miatt. Felhasználási területük a rádiózás, televíziózás, radar.

VHF: Very High Frequency – Nagyon magas frekvencia, 30 MHz-300 MHz frekvenciájú hullámok.

WAP: Wireless Application Protocol – A vezeték nélküli adatátvitel egy nyílt nemzetközi szabványa, melyet hordozható eszközökhöz (mobiltelefonok, PDA-k) fejlesztettek ki. A protokollcsalád célja a webböngészés lehetővé tétele csökkentett funkciókkal és néhány mobilspecifikus kiegészítéssel. Ezt a protokollt használja a legtöbb mobiltelefonra írt internetes oldal.

WCDMA: Wideband Code Division Multiple Access – Egy szélessávú adatkapcsolatot biztosító mobilkommunikációs protokoll, mely az egyik alapja a nemzetközi 3G-s szabványnak, és jelenleg 384 kbit/s és 2 Mbit/s közötti sebességeket támogat.

WECA: Wireless Ethernet Compatibility Alliance – A vezeték nélküli Ethernet hálózatokra szakosodott szövetség egy non-profit szervezet, mely megalakulásakor (1999. augusztus 23., Santa Clara) célul tűzte ki, hogy ellenőrzi és WiFi címkével minősíti az "IEEE 802.11b High Rate" szabványnak megfelelő WLAN termékeket, hogy biztosítsa az eszközök garantált együttműködését.

WHO: World Health Organization – Az ENSZ Egészségügyi Világszervezete is foglalkozik az elektromágneses sugárzás veszélyességével, ezen belül a mobiltelefonok és bázisállomások egészségügyi hatásaival. A szervezet úgynevezett Ténylapot adott ki

erről 1998-ban, majd 2000-ben. Az Európai Tanács a WHO és az ENSZ Sugárvédelmi Bizottsága megállapításait figyelembe véve határozta meg alapkorlátként az emberi szervezet által elnyelt sugárzásmennyiség felső határát, továbbá megengedhető határértékként a külső, levegőben mérhető sugárzás felső korlátját.

WiFi: Wireless Fidelity – A vezeték nélküli helyi hálózatoknál használt kifejezés, de nem annak szinonimája, hanem a WECA nemzetközi szakmai szervezet védjegye az általa minősített WLAN termékekre.

WiMAX: Worldwide Interoperability for Microwave Access – A WiMAX az IEEE 802.16 vezeték nélküli hálózattal kapcsolatos szabvány együttműködésével foglalkozik, hasonlóan a Wi-Fi-hez, mely az IEEE 802.11 vezeték nélküli szabványt veszi alapul. A WiMAX működésében azonban teljesen eltér a WiFi-től, frekvenciáját tekintve a 3400-3800 MHz közé esik.

WLAN: Wireless Local Area Network – A vezeték nélküli helyi hálózat eredetileg a hagyományos Ethernet hálózat rádiós kiterjesztése, amely így a felhasználók számára kényelmes, nagysebességű, biztonságos adatkapcsolatot tesz lehetővé. A helyi (vállalati) adathálózatoktól, a LAN-októl abban különbözik, hogy a gyakorlatban nyilvános szolgáltatásokat, legelterjedtebben szélessávú mobil internet-hozzáférést nyújtanak rajta, vagy a távközlési társaságok közvetlenül a felhasználóknak, vagy az ilyen helyek üzemeltetői teszik komfortosabbá saját vendégeiknek nyújtott szolgáltatásaikat. A WLAN-t gyakran összekeverik a WiFi rövidítéssel, holott az előbbi a vezeték nélküli helyi hálózat rövidítése, aminek az IEEE 802.11 a szabványa, míg a WiFi az e szabványon alapuló együttműködést garantáló tanúsítvány.

Fogalmak (szövegbeli megjelenésük sorrendjében)

¹elektroszmog: Komplex elektromágneses környezetünk, kb. 0-300 GHz közötti frekvenciájú nem-ionizáló elektromágneses sugárzások összessége.

²elektromágneses sugárzás: Azt az elektromágneses hullámot, amelynek a forrásától több hullámhossznyi távolságban vagyunk, szokás elektromágneses sugárzásnak nevezni.

³elektromágneses hullám: Egymásra és a terjedés irányára merőlegesen rezgő elektromos és mágneses tér, mely fénysebességgel terjed, valamint energiát és impulzust szállít. Részecskéje a foton.

⁴epidemiológia: Járványtan, betegségek elterjedésének statisztikai vizsgálatával foglalkozó orvosi tudományág.

⁵glióma: Az agy vagy a gerincvelő neuroglia sejtjeinek daganatos burjánzása.

⁶kvantumenergia: egy foton energiája ($E=h\cdot f$), az elektromágneses hullámban a foton energiája

⁷termikus zaj: Elektromos zaj, amely egy ellenállás két vége között a töltéssűrűség állandó szabálytalan változása miatt keletkezik. Ez a töltéskülönbözet a töltéshordozók hőmozgása révén jön létre.

⁸dózis: Adagot, meghatározott mennyiséget jelent, itt az egységnyi tömegben elnyelt energiát értjük alatta.

⁹sugárzási zóna: több hullámhossznyi távolságban az adótól

¹⁰karakterisztika, antennáé: A sugárzási karakterisztika az adó vagy vevőantenna körül kialakult mező relatív erősségét mutatja. Ezt úgy határozhatjuk meg, hogy az antenna körül a tér különböző pontjainál megmérjük a térerősséget. A sugárzási karakterisztika egy körsugárzó antenna esetében egy vékony fánkhöz vagy palacsintához hasonlít, amelynek közepében az antenna van. Ezzel szemben a szektorantennának karakterisztikája legyező alakú, vagyis ezek irányítottan sugároznak.

¹¹elektromos permittivitás (ϵ): Anyagi jellemző, annak a mértéke, hogy egy közeg mennyire áll ellen a rá ható elektromos térrel szemben.

¹²mágneses permeabilitás (μ): Anyagi jellemző, annak a mértéke, hogy egy közeg mennyire áll ellen a rá ható mágneses térrel szemben.

¹³dielektromos polarizáció: Az elektromos térbe tett szigetelő belsejében „dipólusláncok”, a szigetelő határfelületein pedig elektromos töltések (ún. polarizációs vagy látszólagos töltések) alakulnak ki, és pedig a tér irányába rendeződve.

¹⁴periódusidő: egy rezgés időtartama

¹⁵dipólus: két egyenlő, ellentétes előjelű töltésből álló egység

¹⁶dielektromos állandó: elektromos permittivitás

¹⁷reverzibilis/irreverzibilis folyamatok: visszafordítható/visszafordíthatatlan folyamatok

¹⁸fejfantom: Emberi fej formájú modell, amelyet az emberi testnek megfelelő elektromos és mágneses tulajdonságú anyaggal töltenek, és élő emberek helyett ezeken vizsgálják az elektromágneses sugárzás elnyelődését.

¹⁹izotróp detektor: Irányfüggetlen mérőeszköz, itt a tér 3 irányába mutató tengelyű antennát tartalmazó mérőszonda.

²⁰spektrum-analizátor: Olyan mérőeszköz, ami a teljes elektromágneses spektrum frekvenciáin képes érzékelni az elektromos térerősséget vagy intenzitást.

²¹ionoszféra: A felső atmoszféra nagyrészt semleges atomokból és molekulákból álló rétege, amelyen belül az ionizált gáz mennyisége érzékelhetővé válik.

²²Ethernet: A DEC, Intel és Xerox cégek (együtt: DIX) által kidolgozott alapsávú LAN-ra vonatkozó specifikáció.

²³intracelluláris tartomány: a sejt belseje

²⁴termoreguláció: hőszabályozás

²⁵vér-agy-gát: Az agyban a neuronok környezetének ionösszetételéért felelős rendszer.

²⁶immuno-hisztokémia: A szövetekben lévő specifikus antigének kimutatási eljárása fluoreszcens festékekkel vagy enzimatis úton.

²⁷limfocita: nyiroksejt

²⁸meningióma: az agyhártya sejteiből kialakuló daganat

²⁹alfa-hullám: agyi elektromos hullámok közvetlen az alvás elején, amikor a személy lehunyja a szemét és ellazul

³⁰agyi apoptózis: agyi természetes (programozott) sejtelhalás

³¹DNS fragmentáció: DNS-törés, feldarabolódás, károsodás

³²ferromágneses: Olyan anyag, amely állandó mágnes lesz egy külső mágneses tér hatására, és megtartja a mágnességét akkor is, ha a külső mágnesező teret eltávolítottuk a környezetéből.

³³szuper-paramágneses: Egyetlen mágneses doménből álló részecske, amelyekben a külső tér hatására rendeződnek spinek, de rendezetlenné válnak, ha eltűnik a külső tér.

³⁴interferencia: hullámok találkozásakor létrejövő összegződés

Jelölések

E:	a foton energiája (J)
h:	Planck-állandó, $6,626 \cdot 10^{-34}$ Js
f:	a hullám frekvenciája (Hz)
<u>S</u> :	Poynting-vektor, teljesítménysűrűség (W/m^2)
<u>E</u> :	elektromos térerősség (V/m)
<u>B</u> :	mágneses indukció (T)
μ_0 :	a vákuum mágneses permeabilitása, $4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Vs}}{\text{Am}}$
c:	a vákuumbeli fénysebesség, $3 \cdot 10^8$ m/s
μ :	mágneses permeabilitás ($\frac{\text{Vs}}{\text{Am}}$)
ϵ :	elektromos permittivitás ($\frac{\text{As}}{\text{Vm}}$)
p:	szignifikancia-szint, 0,05

I. RÉSZ: Bevezetés

1. Bevezetés

1.1. Problémafelvetés

A rádiófrekvenciás és mikrohullámú (RF-MH*) elektromágneses sugárzások (EMF*) vizsgálatának igénye csak az elmúlt évtizedekben fogalmazódott meg, amikor is a környezetünkben tömegesen jelentek meg ebben a tartományban működő készülékek és technológiák. Ez a téma rendkívül aktuális és újszerű. Mind tudományos körökben, mind a társadalom széles rétegeiben nagy érdeklődésre tart számot. Rengeteg tévhit alakult ki ebben a témakörben, és a média időről időre –tudatosan vagy sem– hisztériát kelt a lakosság körében, elsősorban a mobiltelefonokkal kapcsolatos kérdésekben. A RF-MH tartomány része a köznyelvben „elektroszmog”-ként elhíresült sugárzásfajtának.

Már maga az „elektroszmog” kifejezés is több okból megtévesztő. Tulajdonképpen a komplex elektromágneses környezetünket értjük alatta, azaz olyan nem-ionizáló¹ elektromágneses sugárzásokat², amelyeket valamilyen használati eszközünk bocsát ki, vagy amely annak működtetéséhez szükséges. Ezzel szemben a szó hallatán egy sűrű ködszerű felhőt képzelünk el, és ez önmagában negatív hatást kelt. Másfelől az ezzel a kifejezéssel illetett jelenség fizikailag egyáltalán nem hasonlít a hagyományos értelemben vett ipari szmoghoz. Először is, ez a sugárzás nem raktározódik olyan módon a szervezetben, mint a szmog káros anyagai. Másodszor pedig ez a technológia működéséhez szükséges „rossz”, ami az ipari szmoggal ellentétben nem csökkenthető a végletekig anélkül, hogy az a szolgáltatás rovására ne menne (Thuróczy 2002a). Tapasztalataim szerint sajnálatos módon egyes személyeknek/csoportoknak anyagi érdeke is fűződik a lakosság hiányos és/vagy téves tájékoztatásához a témában.

Doktori munkám fő célja a fizika oldaláról megközelíteni az elektromágneses környezetünkben embert érő expozíció kérdését.

1.2. Háttér

Amikor rádiófrekvenciás és mikrohullámú sugárzásokról beszélünk, akkor a 300 kHz-300 GHz frekvenciájú elektromágneses hullámokra³ gondolunk. Ezek nem ionizálják az anyagot, a kölcsönhatás főként hőhatásuk vagy elektromos tulajdonságaik révén jön létre. Sok más felhasználás mellett ebben a frekvenciatartományban sugározza adását a rádió- és televízióadók többsége, itt működnek a mobiltelefon készülékek és – természetesen – bázisállomásaik és átvíró antennáik, valamint a mikrohullámú sütők. De ezeket a frekvenciasávokat alkalmazza számos vezeték nélküli eszköz és technológia (különböző cordless- és wireless eszközök, mint a vezeték nélküli vonalas telefon, a Bluetooth, a WiFi*), és egyébként a radarok, a GPS* és a traffipax is. Látható tehát, hogy ezen alkalmazások sugárzása aktuális, valós és növekvő környezetvédelmi tényező.

Ezen eszközök használata széles körben terjed, ezek a sugárzások modern életünk elválaszthatatlan részévé váltak. Megdöbbentő adat, hogy ma a világon ötmilliárd mobil telefonszám van, de elgondolkodtató az a tény is, hogy Magyarországon 2007 áprilisában, tizenhárom évvel a GSM* szolgáltatás hazai beindulása után, a mobiltelefon előfizetések száma meghaladta a lakosság lélekszámát, mára pedig 12 millióra rúg (www.nmhh.hu 2012).

Napi szinten használjuk azokat az eszközöket, amelyek ilyen elven működnek, senki sem kerülheti ki a sugárzást, még az se, aki nem használ ilyen eszközt. Márpedig az egészségi hatásairól igen keveset tudunk, mivel nem használjuk tömegesen annyira, hogy egy esetleges hosszú távú hatást epidemiológiai⁴ méretekben észleljünk. Ugyanakkor a WHO* megállapítása szerint a mobiltelefon használat esetében a nagy érintett népesség miatt egy viszonylag kis egészségi kockázat is népegészségügyi következményekkel járhat.

Éppen ezért nem meglepő, hogy 2011. május 31-én a Nemzetközi Rákkutató Ügynökség (IARC*) az extrém alacsony frekvencia után a rádiófrekvenciás sugárzást is besorolta a lehetséges emberi rákkeltő (ú.n. 2B) kategóriába. A besorolás nem közvetlen bizonyítékon alapul, hanem statisztikai adatok alapján történt. A glióma⁵ kialakulása esetén mutattak ki összefüggést a vezeték nélküli telefon használatával, azonban azzal a megállapítással, hogy a kialakulására nézve nem zárható ki más ok.

Tekintettel a meglehetősen összetett elektromágneses környezetünkre és a probléma újszerű mivoltára, jelenleg még nem állnak rendelkezésre nagyobb

mennyiségben olyan adatok, amelyek a személyt érő besugárzásról (expozícióról) adnának információt. Pedig ezek nélkülözhetetlenek olyan epidemiológiai vizsgálatokhoz, amelyek alapvetőek lennének az egészségi hatások kutatásában. Mindezek ellenére az eddigi kutatási eredmények alapján megállapítottak lakosságra vonatkozó hatósági határérték ajánlásokat. Ezeket úgy határozták meg, hogy kivédjék az összes azonosított veszélyt, legyen szó akár rövid-, akár hosszútávú expozícióról.

A magyar szabályozást az Egészségügyi, Szociális és Családügyi Minisztérium 63/2004. (VII. 26.) rendeletének 1. számú mellékletében találjuk, itt lehet olvasni a 0 Hz-300 GHz frekvenciájú elektromos, mágneses és elektromágneses terek lakosságra vonatkozó egészségügyi határértékeiről.

1.3. Előzmények

1992-ben jött létre az ICNIRP* (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection), vagyis a Nemzetközi Nem-ionizáló Sugárvédelmi Bizottság, amely nemcsak a rádiófrekvenciás-, hanem az alacsony frekvenciás- és az UV sugárzások elleni védelemmel is foglalkozik. A WHO 2006-ban közzétett kutatási prioritásai között szerepelt az egyéni elektromágneses expozíció meghatározása komplex elektromágneses környezetben. Ez gyakorlatilag az extrém alacsony frekvenciát (ELF*), azaz az 50/60 Hz-et, és a RF-MH tartományt foglalja magában.

Hazánkban 2007-ig csak az Országos Sugárbiológiai és Sugáregészségügyi Kutató Intézetben (OSSKI*) a Nem-ionizáló Sugárzások Főosztálya foglalkozott ilyen vizsgálatokkal, és nekik is elsősorban az alacsony frekvenciás mérések terén voltak tapasztalataik és eredményeik. Azóta az Eötvös Loránd Tudományegyetem Természettudományi Karának Atomfizikai Tanszékén is elindítottuk ezeket a vizsgálatokat, természetesen az OSSKI-val szoros együttműködésben.

A WHO elsődleges kérdése ezen a területen: „Lehet-e a lakosságon belül olyan réteget találni, akik valamilyen okból veszélyeztetettebbek/érintettebbek a többieknél?”

Az expozíció mérésének célja tehát minden esetben az epidemiológiai tanulmányok megtámogatása. Ehhez két irányból közelíthetünk. Az egyik módszer, hogy az epidemiológiai felmérések által kijelölt célcsoportok expozícióját mérjük meg, azonban ehhez –különösen Magyarországon– kevés adat áll rendelkezésre. A másik irány, amikor bizonyos előzetes elgondolások alapján kijelölt csoportokban végzünk

méréseket, és ezek alapján, epidemiológiai szempontból felhasználható, expozíciós osztályokba soroljuk az alanyokat.

Az eddigi vizsgálatok azt mutatták, hogy az expozíció meghatározása legmegbízhatóbban személyi expozícióméréssel valósítható meg, tekintettel arra, hogy a tapasztalat szerint a helyszíni mérések adatai önmagukban nem szolgáltatnak elegendő információt az egyén expozíciójáról az időben ingadozó és hely szerint is nagyon változó komplex elektromágneses környezetben (Thuróczy et al. 2008). Ugyanakkor a rádiófrekvenciás személyi expozícióra vonatkozóan napjainkig is viszonylag kevés mérés történt, tekintettel arra, hogy az ilyen mérőeszközök az elmúlt pár év igényei alapján kerültek kifejlesztésre, illetve most vannak fejlesztés alatt.

Alapvető probléma az is, hogy a mérés és a kiértékelés módszere világviszonylatban is kevésbé kidolgozott. Számos országban zajlanak mérések, több kutatócsoport is dolgozik/dolgozott a módszertan fejlesztésén, de egyelőre nincsen általánosan elfogadott nemzetközi protokoll sem a mérésre, sem az adatfeldolgozásra, sem a statisztikai elemzésre.

1.4. Célkitűzések

a) A fentieknek megfelelően, **elsődleges célom volt egy ilyen jellegű mérésekre vonatkozó mérési, feldolgozási és kiértékelési eljárás kidolgozása.** Azonban az ilyen fejlesztések kizárólag a gyakorlati tapasztalatok alapján végezhetőek el, ezért egy felméréshez kapcsolódóan kezdtem bele. Az így megalapozott módszert azután alkalmaztam másik két tanulmányban is.

b) **Az első méréssorozat célcsoportja egyetemi hallgatókból állt,** mivel tudomásom szerint még sehol nem végeztek ilyen vizsgálatokat. Másfelől, ők lehetnek a legveszélyeztetettebb korosztály. Ez a generáció lényegében már serdülőkora óta használ mobiltelefont, és vélhetően még elég hosszú ideig fog, ráadásul meglehetősen nyitott és fogékony az új technológiákra. Ezért 3 különböző típusú mérőeszköz alkalmazásával az ELTE Természettudományi Karának 90 különböző hallgatójával összesen 100 mérést elvégezve 136 mérési fájlt gyűjtöttem.

c) **A második vizsgálat az OSSKI-val közösen zajlott, ebben a célunk mobiltelefon bázisállomások közelében élők expozíciójának meghatározása volt.** Ehhez az egyik mobilszolgáltató által kijelölt 6 budapesti bázisállomás közelében

végeztünk méréseket különböző távolságokban, panel- és családi házas környezetben is, összesen 104 lakóval.

d) **A harmadik tanulmányban, két részletben gyerekeket ért besugárzás megbecslését végeztük** az OSSKI-val közösen. Először óvónők és tanítónők expozícióját mértük, kontrolcsoportnak pedig önkormányzati dolgozókat kértünk fel mérésre. Összesen 31 általános iskolai tanár, 50 óvónő és 51 önkormányzati dolgozó vett részt a mérésben Magyarország 4 városából. Majd egy budapesti óvodai csoportban próbáltam megbecsülni az óvodás gyerekeket érő expozíciót az óvónők és a szülők bevonásával. Itt 25 párhuzamos mérést végeztem, ezzel 50 mérési fájl keletkezett.

e) Nem titkolt **szándékom volt továbbá, hogy az ország felsőoktatási intézményei közül elsőként az ELTE TTK-n megindulhassanak az ilyen irányú kutatások, valamint fokozatosan az oktatásban is megjelenjen ez a téma.** Emellett pedig rendkívül fontosnak tartom a **lakosság tájékoztatását**, aminek érdekében több rendezvényen is tartottam előadást a témában.

II. RÉSZ: Szakirodalmi háttér

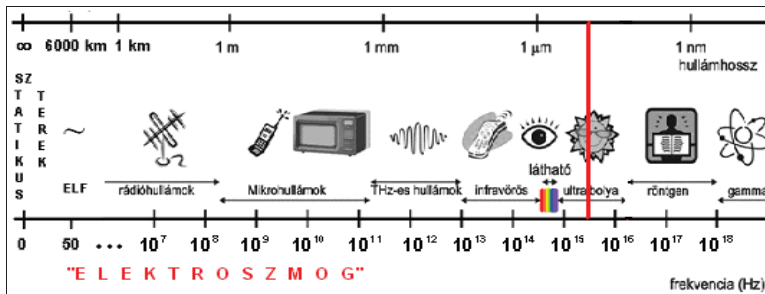
2. Fizikai háttér

Ebben a fejezetben a bevezetés részeként áttekintést adok azokról a fizikai tudnivalókról, amelyek meghatározóak a kutatás szempontjából.

2.1. Nem-ionizáló elektromágneses sugárzások

Az elektromágneses sugárzás egymásra merőlegesen haladó, periodikusan változó elektromos és mágneses tér, mely hullám formájában terjed energiát és impulzust szállítva. A hullám részecskéinek energiája arányos a frekvenciájával: $E = h \cdot f$, ahol az arányossági tényező a Planck-állandó: $h = 6,626 \cdot 10^{-34}$ Js. Az elektromágneses hullámok fénysebességgel terjednek, és rájuk a hullámterjedés általános törvényei érvényesek: különböző közegek határfelületein a hullámok visszaverődnek, megtörnek, elhajlás szenvednek. A hullámhosszuk $\lambda = c/f$ képlettel számolható, ahol c a vákuumbeli fénysebesség, f pedig a frekvencia.

A teljes elektromágneses spektrumon (1. ábra) láthatóak a hullámtípusok a frekvencia és hullámhossz szerint rendezve.



1. ábra: Az elektromágneses spektrum (Hebling-Almási 2005)

Körülbelül 3 PHz frekvenciánál húzható egy határ (az 1. ábrán piros csíkkal jelölve), mely az ionizáló és nem ionizáló sugárzás határát jelöli. Az ez alatti frekvenciájú sugárzások fotonjainak túl kicsi az energiájuk ahhoz, hogy ionizálni tudják az anyagot, ezért ezeket nem-ionizáló sugárzásoknak hívjuk. Ide tartozik az optikai tartomány is, azon belül az ultraibolya, a látható fény és az infravörös is.

„Elektroszmog” alatt azonban az ez alatti tartományt értjük, különös tekintettel a rádiófrekvenciás és mikrohullámú tartományra (RF-MH: 300 kHz-300 GHz), valamint az úgynevezett extrém alacsony frekvenciára (ELF: 50/60 Hz). Az előbbi tartományban működnek a rádió- és televízióadók, a készenléti egységek kommunikációs csatornái, a mobiltelefonok és a hozzájuk tartozó bázisállomások, a radarok és navigációs rendszerek, a mikrohullámú sütők, és az összes vezeték nélküli irodai és kommunikációs eszköz (Bluetooth, WLAN*, telefon, egér, billentyűzet). Az 50 (60) Hz-hez köthető lényegében az összes háztartási elektromos berendezésünk, a hozzájuk tartozó vezetékek, valamint a transzformátorok és a távvezetékek. A két tartomány között leggyakrabban felmerülő sugárzás pedig a monitorokból származik (15 és 60 kHz).

A dolgozat témája ezek közül az első tartomány, azaz a rádiófrekvenciás és mikrohullámú sugárzások vizsgálata.

2.2. RF és MH

Az ionizáló sugárzásokból kiindulva az egyes embert érő behatások vizsgálatokor lényegében a természetes háttér lehet a referencia, ehhez viszonyítva mondhatunk egy értéket soknak vagy kevésnek, hiszen egészségünkre nézve a természetes értékektől való eltérések jelenthetnek veszélyt. A RF-MH tartományban viszont a világűrből érkező jelek intenzitása elenyésző a civilizációs forrásokhoz képest, ugyanakkor szem előtt kell tartani, hogy az emberi test is elektromos jelekkel dolgozik, amelyek nagysága esetenként jócskán meghaladhatja a külső terekét.

A biológiai hatások biofizikai modellek segítségével történő mikroszkopikus vizsgálatok megállapítást nyert, hogy a környezetünkben jelenlévő nem-ionizáló elektromágneses sugárzások kvantumenergiája⁶ a leggyengébb kémiai kötésekénél is kisebb. Az élő szervezetben a termikus zaj⁷ szintjét sem éri el, és a szervezetben saját működése során létrejövő belső télerősségek nagyságrendekkel nagyobbak lehetnek, mint a külső tér hatására bennünk keletkező terek. Ilyen módon egyes esetekben nem is helyes az ionizáló sugárzáshoz hasonlóan a külső természetes háttérhez viszonyítani az expozíciós értékeket (Thuróczy 2002b).

A biológiai kutatásokkal párhuzamosan feltétlenül szükséges tudnunk az embert érő külső expozíció mértékét. Lényeges, hogy ezeknél a sugárzásoknál az embert érő expozíció és a biológiailag hatásos dózis⁸ közötti összefüggés nem olyan egyértelmű,

mint az ionizáló esetben. Ennek megfelelően beszélhetünk expozimetriáról, amely a külső expozíció mérhető fizikai leírásával foglalkozik, valamint beszélhetünk –az ionizáló sugárzásokhoz hasonlóan– dozimetriáról, ami pedig a testben elnyelt sugárzás biológiai hatására jellemző mennyiségekkel dolgozik.

A sugárzások hatásának tanulmányozására egységesen kialakult „dozimetriai” fogalmakat az 1. táblázat tartalmazza:

	Fogalom neve	Jele	Mértékegysége
EXPOZIMETRIA	Elektromos térerősség	E	V/m
	Teljesítménysűrűség	S	W/m ²
DOZIMETRIA	Fajlagosan elnyelt teljesítmény	SAR	W/kg
	Fajlagosan elnyelt energia	SA	J/kg

1. táblázat: A sugárzások vizsgálatához használt mennyiségek

Az elektromágneses hullámokban az elektromos és mágneses térerősség szoros összefüggésben van egymással és a hullám által szállított energiával, ezek egymásból kalkulálhatók.

Az elektromágneses hullám fizikai tulajdonságai között az alábbi összefüggések állnak fenn:

$$\underline{S} = \frac{1}{\mu_0} \underline{E} \times \underline{B} \quad \text{és} \quad E = c \cdot B, \quad \text{ahol} \quad \mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Vs}}{\text{Am}} \quad \text{és} \quad c = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Ezért elegendő esetünkben az elektromos térerősség mérése, mert abból következtethetünk a mágneses indukcióra és a teljesítménysűrűsége is. A térerősség, illetve teljesítménysűrűség és az SAR* kapcsolata azonban sokkal összetettebb.

Egy adótól nagy távolságra, a sugárzási zónában⁹, ahol a távolság a hullámhossz sokszorosa, az elektromos és mágneses tér egyaránt a távolsággal arányosan, a teljesítménysűrűség (intenzitás) pedig a távolsággal négyzetesen csökken. Az adó fontos jellemzője az effektív kisugárzott teljesítménye, amely függ az antenna sugárzási teljesítményétől és karakterisztikájától¹⁰. A mobiltelefon bázisállomások irányított sugárnyalábbal dolgoznak. Ebben a frekvenciatartományban a hullám már egyenes vonalban terjed, jól irányítható, és a hullámok terjedése csak kis mértékben függ az időjárástól, illetve a légköri viszonyoktól (Thuróczy 2002a).

A lakosság egy ilyen antennától származó expozícióját befolyásolja még a beépítettség, pl. egy városi környezetben a beépítettség miatt a teljesítménysűrűség valójában a távolság kb. 3,5-ik hatványával csökken. Így tulajdonképpen a

mobiltelefonok esetében általában nagyobb egészségi kockázatot jelenthet a kézi készülék sugárzása, mint a bázisállomásoké (Thuróczy 2002a).

Számokban kifejezve, a természetes háttérintenzitás $1,4 \cdot 10^{-3} \mu\text{W}/\text{m}^2$, ehhez képest városi környezetben a lakosságot érő tipikus mesterséges forrású sugárzási intenzitások elérik a néhány száz $\mu\text{W}/\text{m}^2$ -t. A mikrohullámú sütők esetén a hazai és nemzetközi szabványok szerint a felülettől 5 cm-re legfeljebb $5 \cdot 10^7 \mu\text{W}/\text{m}^2$ (cm^2 -enként 5 mW) engedélyezett, ennek új állapotban meg is felelnek a készülékek. Ezzel szemben egy 100 W-os antennától 30-40 méterre a becsült intenzitás $10^4 \mu\text{W}/\text{m}^2$. A mobiltelefonok esetén az embert érő sugárterhelés ennél sokkal nagyobb, egyes becslések szerint a készüléktől néhány cm-re a teljesítménysűrűség $10^7 \mu\text{W}/\text{m}^2$ is lehet (10 nagyságrenddel a természetes háttér fölött!). A fej mérete, nagy dielektromos állandója és az antenna közelsége miatt ennek a teljesítménysűrűségnek a 40-70%-a a fejben nyelődik el. Tehát a fejben elnyelt SAR sokkal nagyobb mobiltelefon, mint más sugárzók esetén (Thuróczy 2002b).

A sugárzás elnyelődésének mértéke az emberi szövetekben a test elektromos permittivitásától¹¹ (ϵ), illetve mágneses permeabilitásától¹² (μ) függ. Mivel az energiafelvétel dielektromos polarizáció¹³ útján történik, ha a külső elektromos tér periódusideje¹⁴ és az elnyelő anyagban található kis dipólusok¹⁵ (pl. vízmolekulák) mozgásának (vibráció, rotáció, stb.) periódusideje megegyezik, maximális elnyelődést tapasztalhatunk. Így nyelődik el a mikrohullámú sütő (2,45 GHz) sugárzási energiája a vízben (Thuróczy 2002b).

A biológiai fontos anyagok elektromos permittivitása emiatt frekvenciafüggő, és a levegő dielektromos állandójától¹⁶ meglehetősen eltér. Így a biológiai anyagban elnyelt sugárzás mennyisége (így valószínűleg biológiai hatása is) erősen frekvenciafüggő. Néhány 100 kHz alatt a sejtmembrán leárnýékolja a külső elektromos teret, a sejt belsejébe csak a nagyobb frekvenciájú hullámok hatolnak be. A biológiai fontos anyagok (sejtmembrán, makromolekulák, fehérjék, aminosavak, peptidek, vízmolekulák) más-más frekvenciatartományban képesek elnyelni (a felsorolás sorrendjében ez a frekvencia nő). Ennek a különbségnek orvosi diagnosztikai jelentősége is lehet (Thuróczy 2002b).

A sugárzás makroszkopikus behatolási mélysége az a távolság a testfelszíntől befelé, ahol az elektromágneses térerősség az e -ed részére (36,8%-ára) csökken. Például 915 MHz frekvencián (mobiltelefon) a magas víztartalmú szövetekben (izom, bőr,

agyszövet, belső szervek) a behatolási mélység 3 cm, míg az alacsony víztartalmúakban (zsír és csont) 18 cm körül van. A behatolási mélység a frekvencia csökkenésével nő, 10 MHz-en vízben gazdag szövet esetén már 10 cm körüli (Thuróczy 2002a).

A kölcsönhatásokban reverzibilis¹⁷ folyamatok és küszöbintenzitások feltételezhetőek, de a dózis fogalma nem definiálható pusztán az intenzitás és a besugárzási idő alapján. A mikrohullámú és rádiófrekvenciás tartományban főleg a frekvencia és a test tulajdonságai (víztartalma, mérete, alakja) határozzák meg az elnyelődés mértékét, de a SAR eloszlás egy egészen egyszerű zsír-izom összetétel esetén is rendkívül bonyolult lehet (Thuróczy 2002a).

A teljes testet ért SAR és az elektromos térerősség között az alábbi kapcsolatot feltételezik: $p_{95}(SAR_{wb})=a(E)^b$ (W/kg), ahol a és b paraméterek értéke a frekvenciától, környezettől és a fantomtól függ (Joseph et al. 2009).

Számos kutatás foglalkozik fejfantomokkal¹⁸. A fejfantom modelleknél fontos tényező a fej és az antenna közötti távolság, valamint a fej anatómiája, mivel ezek nagyban befolyásolhatják az SAR értékét. Egy tanulmány, amely három fejmodellel dolgozott, nevezetesen egy 11 éves lányéval, egy 6 éves fiúéval és egy 34 éves férfiéval, arra a megállapításra jutott, hogy zajos környezetben az önkéntesek nagyobb erővel nyomták a fülükhöz a telefont, így csökkent a távolság, aminek hatására az SAR értéke megnőtt. Fontos eredmény, hogy a gyerekek és a felnőttek modellek között nem volt megfigyelhető eltérés a vizsgált paraméterekben (Christ et al. 2010).

Az emberben elnyelt átlagos SAR becslése általában számítási modellek segítségével történik, az eredményeket a beeső teljesítménysűrűség és frekvencia függvényében adják meg. Például 1 GHz frekvenciánál $0,1 \mu W/m^2$ beeső teljesítménysűrűség esetén 0,01 W/kg SAR-ról beszélhetünk (Thuróczy 2002b).

2.3. Expozimétria

Mindazonáltal a doktori munkámban és a dolgozatomban is az expozimétriával foglalkozom, ezért ennek részletezésével folytatom a fejezetet.

Az expozimétria feladata tehát addig tart, amíg meghatározzuk az egyént érő besugárzás mértékét. Az első expozíciós mérések során kiderült, hogy a legcélszerűbb az elektromos térerősség értékét mérni, lehetőleg izotróp detektorral¹⁹. A korai spektrum-analizátoros²⁰ helyszíni mérések tanulságai alapján egyrészt érdemes a folytonos spektrum helyett a legelterjedtebb sugárforrásoknak megfelelő diszkrét

frekvenciasávokban mérni, másrészt pedig az egyén expozícióját jobban leíró személyi méréseket alkalmazni (Thuróczy et al. 2008).

Ennek megfelelően 2004-ben jelent meg az első személyi expoziméter (Personal Exposure Meter, PEM*), és a fejlesztés –mivel azóta is újabb és újabb hiányosságokra derül fény– folyamatos.

Az általam használt három típus mindegyike adott időközönként detektálta és egy belső memóriában tárolta a megfelelő csatornákhöz tartozó elektromos térerősség értékeket. A számítógépre való letöltés után mindegyik a saját szoftverével jelenítette meg a mért adatokat az idő függvényében, különböző színekkel jelölve a frekvenciasávokat.

A mért csatornákat a 2. táblázat foglalja össze, az egyes sávokhoz tartozó részletes magyarázat pedig a táblázat után olvasható.

Frekvenciasávok	
FM	88 MHz – 108 MHz
TV3	174 MHz – 223 MHz
TETRA	380 MHz – 400 MHz
TV4&5	470 MHz – 830 MHz
GSM tx	880 MHz – 915 MHz
GSM rx	925 MHz – 960 MHz
DCS tx	1710 MHz – 1785 MHz
DCS rx	1805 MHz – 1880 MHz
DECT	1880 MHz – 1900 MHz
UMTS tx	1920 MHz – 1980 MHz
UMTX rx	2110 MHz – 2170 MHz
WLAN	2400 MHz – 2500 MHz

2. táblázat: Az expoziméterek által mért frekvenciasávok

FM (*Frequency Modulated*): Frekvenciamodulált rádióadás, itt lényegében az URH* sávban működő kereskedelmi rádiókat értjük alatta. Bár már a 30-as években kifejlesztették az URH sávra az FM rádiózást, ez az amerikai médiatársaságok lobbija miatt csak később terjedhetett el. Védni akarták a már kiépített hálózatukat, így visszatartották a találmányt, majd a háború miatt csak az '50-es, hazánkban inkább a '70-es években terjedt el. Az FM-nek nagy előnye volt, hogy kiváló minőségű átvitelt tett lehetővé (nagyobb sávszélességet használt), valamint nem vette fel az AM* által

érezkelt zajokat (pl. villámlás). Viszont kezdetben azt gondolták, hogy csak egészen kis körzet besugárzására alkalmas, mert a fényhez hasonlóan csak egyenes vonalban terjed, és nem verődik vissza az ionoszféráról²¹, így „látóhatár alatt” már nem fogható. Ennek kiküszöbölésére az FM antennákat magas helyekre (felhőkarcolók tetejére, ill. hegyekre) kell telepíteni. Az URH sáv tulajdonságai miatt itt országos adóhálózatra van szükség, egy adó –mint pl. a Kossuth rádió esetében– nem oldhatja meg az ország lefedését. (Hargitai 2004)

TV3 és TV4&5: Tulajdonképpen a földi sugárzású analóg (VHF*) és digitális (UHF*) televízió-adókat jelentik. Stockholmban, 1961-ben az európai országok elfogadták az analóg TV műsorszórás frekvenciatervét. Magyarországon a kereskedelmi televíziózás elindításakor vált nyilvánvalóvá, hogy a frekvenciakészletek szűkösek, és további országos hálózatok kialakítására az analóg rendszerben nincs lehetőség.

A digitális technológia elterjedése tette lehetővé, hogy a műsorszórás területén is megkezdődjenek azok a pozitív változások, amelyek más rádió-távközlési szolgáltatások területén már korábban megtörténtek.

Európai kezdeményezésre az ITU* 2006-ban összehívta a Körzeti Rádiótávközlési Értekezletet a földfelszíni digitális műsorszórás tervének elkészítésére a 174-230 MHz (VHF sáv) és a 470-862 MHz (UHF) frekvencia sávokban. A megállapodás aláírásával hatályukat veszítették az 1961-ben, illetve 1989-ben elfogadott, mintegy 120 ország részére frekvencia-felhasználási lehetőségeket tartalmazó analóg televíziótervek, és az országok előreláthatólag több évtizedre szóló új frekvencia-felhasználási lehetőségeket kaptak a földfelszíni digitális televízió és rádió műsorszórás számára. Az elfogadott terv mennyiségi téren is korszakváltást jelentett, ugyanis az addig alkalmazott tömörítési eljárások mellett a digitális technológia akár 4-6 TV-műsor kisugárzását is lehetővé teszi egy TV-csatornában. (<http://misc.meh.hu/letoltheto/mksz.pdf> 2006)

TETRA (*Terrestrial Trunked Radio*): A készenléti és katasztrófavédelmi szervezetek egységes, professzionális mobil kommunikációját biztosító rendszerek egyik versengő technológiája (a másik a Tetrapol). A Tetra szabvány fejlesztését az 1990-es évek elején kezdte meg az Európai Távközlési Szabványosítási Szervezet (ETSI*). Ezt a technológiát jelenleg ötvenöt országban, háromszázhuszonöt rendszerben használják. (Legnagyobb szállítói a Motorola és a Nokia.) Évekkel ezelőtt a szakemberek még azt jósolták, hogy a különböző mobil távközlő-rendszerek (GSM,

TETRA, UMTS) egységbe rendeződnek, de kiderült, hogy ezek egymást nem helyettesítik, hanem inkább kiegészítik. (Galvács 2004)

GSM (*Global System for Mobile Telecommunications*): A mobilkommunikáció második generációját képviselő rendszer, amelynek rövidítéséhez azonban csak utólag rendelték ezeket a szavakat. Eredetileg ugyanis az európai távközlési hatóságok által 1982-ben, az új mobilszabvány kidolgozására létrehozott csoportot nevezték franciául így: Groupe Spécial Mobile. A GSM létrehozásának célja eredetileg egy páneurópai rendszer kiépítése volt, de a rendszer mára valóban globálissá vált, legalábbis abban az értelemben, hogy a világ számos más régiójában (Ázsia, Dél-Afrika, Ausztrália) is működik. (Valójában azonban mégsem a mobiltelefon általános világszabványa, hiszen például más rendszer működik az USA-ban.) A GSM a hagyományos, 900 MHz-es sávban a 890-915 és a 935-960 MHz között, 2 x 25 MHz sáv szélességen működik, az 1800-as tartományban pedig a DCS szabvány szerint (1710-1785 és 1805-1880 MHz között, 2 x 75 MHz sáv szélességen). A GSM az első generációs analóg rendszerekkel szemben már digitális, viszont azzal megegyezően a vonalkapcsolás elvén működik. Fő alkalmazási területe beszédátvitel, vagyis a telefon, de viszonylag alacsony (eredetileg 9,6 kbps) sebességen már lehetővé teszi az adatátvitelt is. Az eredetileg inkább üzemviteli célokra szánt a rövid üzenetküldés (SMS) funkciónak végül a felhasználók körében óriási sikere lett. Ennek mintájára később, a 2000-es évek elején megjelent a multimédiás üzenetküldés (MMS), illetve a gyártók piacra dobták az ezt lehetővé tevő nagyobb kijelzős, színes, kamerával ellátott készülékeket. Az 1990-es évek második felében vezették be az internetezéshez hasonló –de a mobiltechnológia sebességéhez és a készülékek megjelenítési képességeihez igazodó– alkalmazást, a WAP*-ot. A GSM alaptechnológiájának felhasználásával, illetve korszerűsítésével folyamatosan újabb műszaki lehetőségek nyíltak meg az adatátviteli sebesség növelésére. A szaknyelvben 2,5 generációs rendszereknek nevezett megoldások közé tartozik a HSCSD*, a GPRS* és az EDGE*. Ezekkel szemben a 3. generációs rendszerben már nem használhatók a GSM rádiós interfész-elemei, teljesen új hálózat kiépítését igényli. (Galvács 2004)

DCS (*Digital Cellular System*): Ezt a digitális cellás mobilrendszert egy számmal együtt szokták jelölni. Nemzetközi szakmai körök értelmezése szerint a DCS 1800 olyan rádió-távközlő rendszer, amelynek műszaki jellemzői nagyjából teljesen megegyeznek a GSM-ével, de amíg eredetileg ez utóbbi a 900 MHz-es sávban működik, addig a DCS, mint a szám is jelzi, az 1800 MHz-es tartományban (1710-1785

és 1805-1880 MHz között, 2 x 75 MHz sávszélességen). A DCS megnyitása tehát a GSM kapacitásának bővítésére szolgált, ami sok országban együtt járt új szolgáltató megjelenésével is. Magyarországon a Vodafone lépett így piacra. A kezdeti, átmeneti korlátozások után a két technológia teljesen összeolvadt, ma már mindegyik GSM-szolgáltató használja mindkét sávot, a készülékek pedig legalább kétsávúak (egy részük pedig az USA-ban honos 1900 MHz-es frekvencián is működik). (Galvács 2004)

DECT (*Digital Enhanced Cordless Telecommunications*): A továbbfejlesztett, digitális, zsinór nélküli telefon a vezetékes hálózat kiegészítő technológiájaként terjedt el a '90-es években. A helyi mobilitást nyújtó technológia nagyobb távolságban, lakáson kívül is lehetővé teszi a telefonálást. (Galvács 2004)

UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*): Az univerzális mobil távközlő-hálózat egy új technológiai alapokon nyugvó, korszerű, nagy kapacitású és frekvenciahatékony mobil rádió-távközlő rendszer, a harmadik generációs rendszerek napjainkban terjedő megoldása. A 3G rendszerek szabványosítását az ITU 1986-ban, az ETSI pedig 1991-ben kezdte meg. Az egységes világszabvány és az integráció célja az volt, hogy egyetlen globális rendszerbe ötvözze az egymástól függetlenül fejlődött és esetenként eltérő célú mobil rendszerek szolgáltatásait. Bár kifejlesztése korai fázisában és elhatározás-szinten a 3G egységes világszabványnak indult (FPLMTS/IMT2000), a különböző érdekek, eltérő fejlesztési koncepciók, szabaddalmi jogviták következtében csak egyike lett a különböző rádiós technológiáknak. Ennek a szabványcsaládnak az európai kifejlesztésű tagja az UMTS. Az ilyen hálózatokban a szélessávú, kódosztásos, többszörös hozzáférési technológiát (WCDMA*) alkalmazzák. (Galvács 2004)

WLAN (*Wireless Local Area Network*): A vezeték nélküli helyi hálózat eredetileg a hagyományos Ethernet²² hálózat rádiós kiterjesztése, amely így a felhasználók számára kényelmes, nagy sebességű, biztonságos adatkapcsolatot tesz lehetővé. A WiFi a vezeték nélküli helyi hálózatoknál használt kifejezés, de nem annak szinonimája, hanem a WECA* nemzetközi szakmai szervezet védjegye az általa minősített WLAN termékekre. Az UMTS-nek annyiban már létező versenytársa, hogy mobilitást és nagy (akár 10 Mbps-nél is gyorsabb) adatátviteli sebességet kínál, viszont a gyakorlatban egy rendszer csak egy szűk területet (például repülőtéri várótermet, bevásárlóközpontokat, szórakozóhelyeket, konferencia-központokat) fed le. A helyi (vállalati) adathálózatoktól, a LAN*-októl pedig abban különbözik, hogy a gyakorlatban nyilvános szolgáltatásokat, legelterjedtebben szélessávú mobil internet-hozzáférést

nyújtanak rajta, vagy a távközlési társaságok közvetlenül a felhasználóknak, vagy az ilyen helyek üzemeltetői teszik komfortosabbá saját vendégeiknek nyújtott szolgáltatásaikat. A WLAN-t gyakran összekeverik a WiFi rövidítéssel, holott az előbbi a vezeték nélküli helyi hálózat rövidítése, aminek az IEEE 802.11 a szabványa, míg a WiFi az e szabványon alapuló együttműködést garantáló tanúsítvány. (Galvács 2004)

A mérések során használt expoziméterek egyike nem izotróp, a másik két típusban háromtengelyű antenna biztosítja a mérés irányfüggetlenségét. A mérőműszerek belső felépítésének, technikai/mérnöki kivitelezésének vizsgálata nem képezi a kutatásom részét, a műszerek elméletben és gyakorlatban történő összehasonlítását később fogom ismertetni.

3. Biológiai- és egészségi hatások

A kutatásomnak nem tárgya a RF-MH sugárzások élettani hatásainak vizsgálata, azonban szükségesnek tartom röviden összefoglalni, hogy mi is indokolja egyáltalán a kutatás létjogosultságát.

Az élettudományok kutatói jól tudják, hogy az élő rendszerek olyan felfoghatatlanul bonyolultak, hogy szinte egyetlen kísérleti lépés eredményeit sem lehet megjósolni. Szinte mindig meglepetéssel válaszolnak a várt eredményekkel szemben, ezért is dolgoznak a fiziológusok leggyakrabban *in vivo* (élő) kísérletekkel. Egyelőre nem áll rendelkezésre elegendő kísérleti adat, így a kutatóknak nincs egységes álláspontja azzal kapcsolatban, hogy az elektromágneses sugárzás vezet-e egészségkárosodáshoz. A fő ok az, hogy a körülöttünk lévő „elektroszmog” létezése és a jelenleg tapasztalható intenzitása nem ölel fel elegendően hosszú időintervallumot ahhoz, hogy kétségbevonhatatlan állításokat tegyenek a kutatók. Másrészt igen tökeerős, ellenérdekelt gazdasági lobbiz húzódik az intenzív sugárzást kibocsátó termékek piaca mögött, aminek következtében a publikációk meglehetősen óvatossá válnak a tényszerű kijelentésekkel (Godó et al. 2011).

3.1. Általános ismeretek

A biológiai és az egészségi hatások kutatásához modellek, sejt- és szövettényeszetek (*in vitro*) vizsgálata, állatkísérletek (*in vivo*), a szaporodásra gyakorolt hatások kutatása, továbbá epidemiológiai- és humán vizsgálatok szükségesek.

A biológiai és az egészségi hatás között az alapvető különbség az, hogy az előbbi a térrel való kölcsönhatásra érkező sejtszintű válasz, amit sokszor nem is érzünk, az utóbbi pedig ezek következtében esetlegesen fellépő makroszkopikus hatás. Ennek megfelelően a kölcsönhatásnak három szintje van: fizikai, biológiai és egészségi hatás.

Az elsősorban a külső tér kölcsönhatásba lép a sejttel, aminek lehet a következménye a második szint, a biológiai hatás, de nem feltétlenül. Feltehetően létezik küszöbintenzitás, azaz nem szükségképpen tartozik bármilyen kis expozícióhoz valamilyen biológiai következmény. A biológiai hatásból pedig bizonyos feltételek mellett lehet egészségi hatás, de ez sem szükségszerű, hiszen a szervezet védekező-mechanismusai ezt megakadályozhatják.

A kutatások első célja meghatározni, hogy mely frekvenciák nyelődhetnek el a makromolekulákban, a sejtthártyában, a sejtfelszínen, a sejtvezban és a sejt plazmában. Fontos tudni, hogy az alacsony frekvenciákon, azaz a néhány 100 kHz alatt, a sejtthártya leárnýekolja a külső elektromos teret, így ilyen esetekben elsősorban sejt falra gyakorolt hatásokat feltételezhetünk. Ezzel szemben a rádiófrekvenciás sugárzások az intracelluláris²³ tartományban nyelődnek el. A biológiai hatások származhatnak termikus és nem termikus mechanizmusból, de a kettő közötti határ zavaros, előfordulhat a kettőnek a kombinálódása is. Az elektromágneses hullám hatására szerkezeti, működés- és viselkedésbeli változások léphetnek fel a biológiai rendszerekben. Ezek lehetnek reverzibilisek vagy irreverzibilisek, azonnali vagy szövödményes, káros vagy kedvező hatásúak. Termikus hatásnak hívjuk, amikor a testünkben vagy annak egy régiójában, a besugárzás jelentékeny hőmérséklet-emelkedést okoz. A kutatások rámutattak, hogy ez az emelkedés emberben és állatban minimális. Ezek az értékek alulmaradnak egy ember átlagos napi 0,5 °C-os hőmérséklet-ingadozásának, így nem tekinthetők károsnak. A hatások izzadásban, vérnyomás- és viselkedésbeli változásokban mutatkoznak meg. A nem termikus hatások tipikus frekvenciafüggést mutatnak hasonlóan a rezonanciához. Mindazonáltal nem termikus hatású esetekben az energia elnyelődik, hővé alakul, és végül így emeli meg a hőmérsékletet (Ziskin 2010).

Makroszkopikusan három tartományt különböztetünk meg a hőmérséklet-emelkedésnek megfelelően: nem termikus, atermikus és termikus. A tartományok határai nem élesek (3. táblázat), mivel a hatások nagyban függhetnek attól, hogy melyik szervről van szó. (Nyilvánvalóan más a jó vérellátású agy és más a vérerekben szegény szemlencse termoregulációja²⁴.) Általános tapasztalat, hogy a megfigyelt egészségi hatások jórészt a hőhatással kapcsolatosak, és ez sokszor el is fedi az előző két típust, ezért is olyan nehéz felvenni az egyértelmű dózis-hatás függvényt (Thuróczy 2002a).

SAR	Hatás	Jellemző
≤0,5 W/kg	nem-termikus	nincs emelkedés, termoreguláció nem aktiválódik
0,5-2 W/kg	atermikus	nincs emelkedés, a termoreguláció miatt
2-8 W/kg	termikus	hőhatás, 1 °C-nál nagyobb emelkedéssel járhat

3. táblázat: A biológiai hatások osztályozása (Thuróczy 2002a)

3.2. Vizsgálatok

Az első megfigyelések három lényeges eredményt hoztak. Az első, és talán a legfontosabb, hogy nem volt kimutatható egyértelmű bizonyíték a mobiltelefonok daganatkeltő és/vagy -növelő hatására. Két másik effektus azonban elgondolkodtató volt. Az egyik, amelyben azt találták, hogy vélhetően a sejtmembrán és az elektromágneses terek kölcsönhatása miatt az amplitúdó-modulált RF-MH tér növelte a Ca^{2+} kiáramlást, amely az egyik legfontosabb ion az agyi fiziológia szempontjából. A másik eredmény a vér-agy-gát²⁵ működésében talált eltérés. Ennek lényege, hogy patkányok esetén RF és MH besugárzás mellett a vér-agy-gát áteresztő-képessége megváltozott, azaz átjutottak rajta olyan vegyületek, amelyeket normális körülmények között nem engedett volna be (Thuróczy 2002b).

Hazánkban az OSSKI-ban már az ezredfordulótól kezdve humán-, állatkísérletek, és in vitro vizsgálatok, kutatások zajlottak. A humán kutatási irányok: EEG*-, hallás-, reakcióidő-, illetve memória-vizsgálatok. Az állatkísérletek az idegrendszeri, az immunrendszeri kutatásokat, az agyi enzimaktivitást, a napszaki ciklusok reakcióit, a viselkedést, ill. morfológiai kutatásokat vizsgálták. Az in vitro kutatások az immunhisztokémia²⁶, a sejtmembrán, illetve a sejtkecsatlakozások reakcióját vizsgálták a rádiófrekvenciás sugárzásokra nézve (Szabó 2006).

Jelenleg is folynak kutatások az OSSKI-ban, valamint a Pécsi Tudományegyetemen, több esetben közösen. A legfrissebb eredményük szerint 30 perces 3G-s expozíció nincsen hatással az EEG-re (Trunk et al. 2012).

A Semmelweis Egyetem Biofizikai és Sugárbiológiai Intézet egyik összefoglaló tanulmányában olvasható, hogy az orvosi gyakorlatban a RF sugárzásokat két csoportra osztják. A RF sugárzások járhatnak hőhatással, amik akár terápiás célokra is felhasználhatók. A sugárzások másik csoportját alkotják a biológiai membránok átjárhatóságát (permeabilitását) megváltoztató hatások. Membránokon végzett vizsgálatok szerint 20 W/kg SAR fokozza a Na^+ , K^+ , Rb^+ -ra vonatkozó áteresztő-képességet (Voszka 2007).

A tanulmány beszámol arról is, hogy az ezredforduló után számos állatkísérletet is végeztek nemzetközi kutatóintézetekben. A kutatások során olyan jelenségeket tapasztaltak, mint hogy például nagyobb SAR értékekre a limfociták²⁷ érzékenysége nagyobb, a vér-agy-gát áteresztő-képessége fokozódik, egy küszöb felett pedig szürkehályog lép fel (hogy mikor, az fajonként eltér). Azonban a kutatóknak számos

nehézséggel kellett szembenéznük a vizsgálatok során. Az egyik fő probléma, hogy a fajspecifitás miatt az eredmények emberre nehezen alkalmazhatók (Voszka 2007).

A nemzetközi szakirodalom alapján a legfrissebb biológiai eredményeket a teljesség igénye nélkül a következőkben összegzem.

Az agyra gyakorolt lehetséges hatások vizsgálata változatlanul jelentős részterülete a kutatásoknak. Ebből is kiemelkedik a mobiltelefon használata és az agytumor kialakulása közötti összefüggés vizsgálata.

Ahogy említettem a fejezet elején, laboratóriumi kísérletek során daganatkeltő és/vagy -növelő hatásra nem találtak közvetlen bizonyítékot. Azonban készült egy nagyszabású tanulmány az északi országokban (Dánia, Svédország, Finnország, Norvégia), ahol az agytumor előfordulásának gyakoriságát vizsgálták hosszú időskálán, 1974-től 2003-ig. A tanulmány több ezer agytumoros esetet tartalmazott erre az időszakra, ami éves átlagot nézve (az említett országokban) több száz gliómás és meningiómás²⁸ esetet jelentett. A gliómás esetek egyre gyakoribb előfordulást mutatnak hosszú időskálán, viszont az nem tisztázott, hogy ez a növekedés a mobiltelefon használattól származik-e. A következtetésük az, hogy 5–10 évet meghaladó mobiltelefon használat már kimutathatóan növelheti az agytumor kialakulásának esélyét, így ilyen csoportok vizsgálata ajánlott (Deltour et al. 2009; Cardis et al. 2011). Azonban tény, hogy egy emberi élettartamhoz képest még olyan rövid a tömeges mobiltelefon-használat eltelte, hogy a hosszútávú hatások talán csak évtizedekkel később válhatnak epidemiológiailag mérhetővé. Egyelőre a Nemzetközi Rákkutató Ügynökség úgy döntött, hogy a közvetett és nem egyértelmű bizonyítékok alapján besorolja a RF és MH sugárzásokat a 2B kategóriába. Azóta megjelent egy friss, 2012-es cikk, melyben több kutatócsoport egyesített erővel próbált egy szisztematikus tudományos áttekintést adni a glióma és egyéb agydaganatok, valamint a vezeték nélküli telefonok közötti kapcsolatról. Ez ausztrál, német, svájci, lengyel, finn, amerikai, olasz, angol és francia részvétellel valósult meg. Epidemiológiai és in vivo kutatásokat értékelték újra egy előre egyeztetett protokoll szerint. Az eredmények alapján nincs statisztikailag jelentős kockázatnövekedés, azonban 10 évnél hosszabb távról nem tudnak nyilatkozni (Repacholi et al. 2012).

A daganatkeltő és daganatnövelő hatásokra irányuló vizsgálatok eredményei tehát ellentmondásosak. Az eddigiek alapján lehetséges, hogy számolni kell ezzel, azonban

végző választ az epidemiológiai vizsgálatok sora, vagyis a hosszú idő alatt, nagy népességen összegyűjtött megbetegedési és halálozási adatok elemzése adhat.

Egyes vizsgálatok szerint az alvás szerkezeti felépítésére a mobiltelefon nincsen hatással, azonban az alvási fázisok minőségében változásokat figyeltek meg, s ezek hosszútávon is megmaradhatnak (Schmid et al. 2010). Egy a különböző korosztályok alfa-hullám²⁹ változását vizsgáló tanulmány elgondolkodtató eredményeket hozott. A kutatás eredményei szerint a kamaszoknál (13-15 év közöttiekénél) és az időseknél (55-70 év közöttiekénél) nem volt kimutatható változás az alfa-hullámban, sem 2G-s, sem 3G-s mobiltelefon expozíció esetén. Azonban a fiatal felnőtteknél (19-40 év közöttiekénél) változást tapasztaltak. E változás mértéke a 2G-s mobil esetben nagyobbak bizonyult, mint a 3G-snél, tehát a pulzáló rádiófrekvenciás sugárzásnak nagyobb a hatása, mint a folyamatosnak. Arra nem igazán találtak meggyőző magyarázatot, hogy a 2G-nek miért csak a fiatal felnőttekre volt hatása, és a másik két csoportra nem (Croft et al. 2010).

A fejfájás és a mobiltelefon használata közötti kapcsolatról is zajlottak tanulmányok, melyek azt támasztják alá, hogy a mobiltelefon használati időtartama és a fejfájás között nincsen összefüggés (Frei et al. 2012).

Egy másik vitatott jelenség az elektromágneses túlérzékenység (hiperszenzitivitás). Ennek lényege, hogy az alanyok negatív testi tüneteket (fejfájás, szédülés, bőrtünetek) érzékelnek elektromágneses terek jelenlétében. Erre vonatkozóan több felmérés alapján megállapítást nyert, hogy az ún. placebo-hatással van összefüggésben, ami a placebo-hatás ellenkezője (Rubin et al. 2010), azaz olyan káros hatás, amit olyan befolyásolás vagy hit idéz elő, hogy valami ártalmas.

Az immunrendszerre gyakorolt hatásokat is több kutatás vizsgálta patkányokon, amiből számos következtetést vontak le, de gyakran ellentmondásosakat. Egy kutatás alapján arra a következtetésre jutottak, hogy az immunrendszert ért hatások a későbbi szakaszokban mutatkoznak meg, legalábbis patkányokban (Ma et al. 2010). Feltehetően a különböző sejttípusok, illetve különböző sejtfázisban lévő sejtek másképp reagálnak az őket ért besugárzásra (Scarfè et al. 2010), és a sejten belüli DNS-károsodás is sejttípus-függő (Xu et al. 2010).

Az utódnemzésre gyakorolt hatások vizsgálata fontos területét képezi a kutatásoknak. Egy patkánykísérletben a WiFi-besugárzott terhes nőtények utódainak

számában és súlyában nem volt eltérés a kontrolcsoport utódaihoz képest, azonban a fiatal egyedek vérében eltéréseket figyeltek meg, továbbá az agyi apoptózis³⁰ is kimutatható volt (Aït-Aïssa et al. 2010). Az egérkísérletek pedig arra engednek következtetni, hogy az egyedek számában, nemi arányában és tömegében nem található eltérés expozíció hatására. Léteznek olyan tanulmányok is, melyek nem találtak semmilyen eltérést az utódok között (Sambucci et al. 2010).

2010-ben készült egy felmérés a norvég haditengerészetnél dolgozó nők utódnemzési mutatóiról is. Az eredmény szerint a felszerelések általi sugárzásnak nincsen hatása a meddőség előfordulására, a spontán vetélések gyakoriságára, az utódok számában és nemi arányában sincsen eltérés, tehát az expozíció nem befolyásolja a nők nemzőképességét (Baste et al. 2010).

A férfiak nemzőképességére gyakorolt lehetséges hatások vizsgálása is kezdettől a kutatások középpontját képezte. Az már korábbról ismeretes volt, hogy a hőmérséklet-emelkedés kiválthatja a spermaszám csökkenést, azonban a cél azon alacsonyabb frekvenciák hatásának a megismerése, amelyeknek nincsen termikus hatása. Egy tanulmány alapján megállapítható, hogy a 848,5 MHz-es expozíció 2 W/kg-os SAR értéknél nincsen káros hatása a férfiak szaporító rendszerére, legalábbis a patkányokban (H. Lee et al. 2010). Azonban egy érdekes kutatás látott napvilágot az elmúlt hónapokban, melyben azt olvashattuk, hogy a vezeték nélküli internethez kapcsolódó laptop használata csökkenti a spermiumok mozgékonyágát és növeli azok DNS-fragmentációját³¹ (Avendaño et al. 2012).

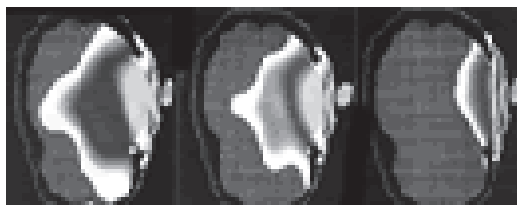
Három témáról feltétlenül szólni kell, ezek: az autóvezetés közbeni mobilozás, a gyermekek védelme, és az elektromos eszközökkel való összeférhetőség.

Autóvezetés közben a balesetek elkerülése érdekében nem javasolt a mobiltelefonálás. Ezt már tartalmazza a KRESZ is, de a jelenleg engedélyezett headsettel nem oldódik meg a probléma, mert bár a vezető keze nincs lefoglalva, a figyelme beszűkülésével is számolni kellene. Az amerikai Highway Loss Data Institute (HLDI) adatai szerint a vezetés közbeni mobilhasználat betiltása nincs hatással a balesetek (biztosítási esetek) számára. A HLDI vezetője, Adrian Lund szerint ennek az lehet az oka, hogy ugyan a kézben tartott mobiltelefonról a legtöbben kihangosítóra váltottak, ez azonban semmivel sem kevésbé kockázatos, a beszélgetés ugyanúgy megosztja a sofőr figyelmét, mintha kézben tartott készülékkel telefonálna. A Utah Egyetemen 2005-ben készült felmérés kimutatta, hogy nem a készülék kézben tartása az, amely igazán

megnöveli a vezetés közbeni telefonálás kockázatát, hanem a beszélgetés által lekötött figyelem, szellemi erőfeszítés. Az az autós, aki telefonál, szellemileg rosszabb állapotban van, mint egy ittas vezető, akinek véralkoholszintje meghaladja a 8 ezreléket (Strayer et al. 2006).

Másodsorban a gyermekek körében egyre terjedő mobiltelefon-használat is aggodalmakra adhat okot, fejlődő szervezetük, eltérő fejméretük és várhatóan hosszabb ideig tartó besugárzásuk miatt. Egy ausztrál kutatásban 236 hétéves gyereket vizsgáltak a 2005/2006-os tanév során társadalmi-demográfiai és expozíciós kérdőívekkel, valamint értelmi képességeket vizsgáló feladatokkal. A lekövetett 1 év során arányaiban nőtt a telefonbirtoklás, valamint a beszédhívások és az SMS-ek száma is. Az ilyen résztvevőknél kisebb volt a reakcióidő-csökkenés az 1 év során a különböző számítógépes- és memória-feladatok esetén, mint akik kevesebbet használták a telefonjukat. A Stroop tesztben azonban nem volt eltérés, és a megfigyelt hatás nem egyértelműen köthető a megnövekedett expozícióhoz (Thomas et al. 2010c).

A mobiltelefonok 900 MHz, 1800 MHz, illetve a most terjedő ún. harmadik generációs készülékek, 2,1 GHz frekvenciájú sugárzást bocsátanak ki, az ezekhez tartozó hullámhosszok rendre 33 cm, 16,7 cm, 14,3 cm. Ebből jól látszik, hogy a sugárzás nagy része az agyszövetben nyelődik el, mivel a koponya geometriai paraméterei összemérhetők a sugárzások hullámhosszával. A Semmelweis Egyetem Biofizikai és Sugárbiológiai Intézetében végeztek erre nézve kísérleteket, aminek kézzel fogható eredményei is voltak. A 2. ábra mutatja ezt be:



1. 2. 3.

2. ábra: Mobiltelefon hosszan tartó használata következtében fellépő hőmérsékletváltozás az agyban 5 éves (1.), 10 éves (2.) és felnőtt korban (3.)

Látható, hogy döbbenetesen nagy a különbség a felnőtt és egy 5 éves gyermek között. Ez egészen jól informál arról is minket, hogy gyermekeinket miért is kell jobban óvni, miért kitettebbek ennek a típusú sugárzásnak, mint a felnőttek. Egyrészről egy gyermek

koponyája kisebb, másrésről az agyszövet víztartalma is magasabb, ami még inkább elnyeli az elektromágneses hullámokat (Voszka 2007).

Szintén a Semmelweis Egyetemen vizsgálták azt is, hogy a páciensbe beültetett pacemakerre milyen hatással van a mobiltelefon által generált elektromágneses mező. Egyes vizsgálati eredmények szerint a mobiltelefon, legalábbis bizonyos típusai zavarhatják a szívritmus-szabályozó (pacemaker) működését. A vizsgálatok eredménye szerint ez $E > 200 \text{ V/m}$, ill. $B > 1 \text{ mT}$ értékeknél lehetséges. Ekkora térerősség csak viszonylag kis (20–25 cm) távolságon belül fordulhat elő. Ezért fontos, hogy a mobiltelefon ne kerüljön 25 cm-nél közelebb a pacemakerhez (Voszka 2007).

Az a felfedezés, miszerint számos biológiai szövet ferromágneses³² kristályokat, úgynevezett magnetiteket (Fe_3O_4) tartalmaz egészen új megközelítést hozott a kutatásokban. A kristályok mágneses tere ugyanis kölcsönhatásba léphet a külső elektromágneses térrel, és ez a kölcsönhatás nem ismert változásokat idézhet elő. Az egyik ilyen hatás, amit feltételeznek, hogy a sejtmembránhoz kötődő magnetit a külső elektromágneses tér hatására mozgásba jön, így a sejtmembrán ioncsatornáinak ki- és bezáródását befolyásolja. A ferritin a szervezet vasraktározó fehérjéje, aminek belső tere körülbelül 4500 vasiont tartalmaz. Ezek a „nanoszemcsék” szuper-paramágneses³³ tulajdonságokat mutatnak. Azt feltételezik, hogy a rádiófrekvenciás mágneses tér hatással lehet erre a vasionra, és ezáltal befolyásolhatja a fehérje működését. Ez a hatás a nem termikus hatások közé sorolható lenne. 30 mikrot-s mágneses térerősség és 1 MHz-es frekvencia esetén a ferritin vasfelvevő képessége lecsökkent az expozíciót követően, aminek következtében 2 órával később 20%-al alacsonyabb volt a fehérjék vastartalma. Ezzel kimutatták, hogy a besugárzás megváltoztatja a ferritin vasfelvevő képességét, azonban, ha „kivették a szuper-paramágneses nanorészecskéket”, akkor a besugárzásnak nem volt hatása a molekulára. Feltételezik, hogy a hatás nem csak az alkalmazott tértől, hanem a ferritin mágneses tulajdonságától, azaz a benne lévő „nanotér”-től is függ. Ez viszont fajonként eltérő lehet, így ezen tanulmány ló-ferritin vizsgálatának eredménye csak összehasonlítási pont lehet a későbbi humán kísérletekhez (Céspedes et al. 2010).

Többek között feltételezhetnénk, hogy a belső folyamatokból származó terek a külső forrásokból származókkal interferálhatnak³⁴, de erre eddig semmiféle tudományos bizonyíték nincsen. Megjegyzendő, hogy a RF-MH sugárzás nem raktározódik a

szervezetben. Ha egyik nap ér egy nagyobb teljesítményű sugárzás, akkor nem adódik hozzá a korábban minket ért sugárzáshoz, illetve a későbbiekben sem kell számolnunk kumulatív hatásokkal (ellentétben például az UV-sugárzással). Egyelőre nem tisztázott az sem, hogy a rövidebb ideig tartó, nagyobb teljesítményű expozíció (készülékhasználat) vagy a hosszabb idejű, ám kisebb teljesítményű besugárzás (távoli adók) hatása lehet-e a jelentősebb.

A tipikus távoli forrásokból (adótornyok, antennák, bázisállomások) származó értékek városi környezetben $0,005-0,1 \mu\text{W}/\text{cm}^2$, ez jellemzően a nap egészében vagy egy jó részében éri a modern embert. A mobiltelefonokból származó teljesítménysűrűségek ennél nagyságrendekkel nagyobbak lehetnek, kb. $10^3 \mu\text{W}/\text{cm}^2$, azonban ezek a szokásos 24 órás periódusunk elenyésző részében, gyakran csak pillanatokig jellemzőek (www.emf-portal.hu 2012).

3.3. Sugárvédelem

A sugárvédelmi határértékek megállapításához a viselkedési változásokra vonatkozó állatkísérletek (elsősorban patkány) adtak alapot. A legalacsonyabb SAR érték, amelynél megjelentek változások $4 \text{ W}/\text{kg}$ volt. Ennek tizedrészét javasolták foglalkozási korlátnak, és 50-ed részét lakossági korlátnak, így alakult ki mára a lakosságra vonatkozó egész testben elnyelt átlagos SAR dóziskorlátjára a $0,08 \text{ W}/\text{kg}$ érték. A sugárvédelem terén alapvető, hogy meghatározzuk a frekvenciafüggéshez alkalmazkodó dóziskorlátokat, de a sok nyitott kérdés miatt felmerült az ún. elővigyázatos megközelítés alkalmazása. Ez az elv rímelt az ionizáló sugárzások esetén bevált ALARA*-elvre. Vagyis szigorúbb előírásokat adna, a technológiaiilag megvalósítható legalacsonyabb értékekből indulna ki, minden biológiai hatást károsnak feltételezne. Néhány országban el is kezdték a bevezetését, azonban hatalmas vitákat váltott ki, mert szakmai körökben nem tartják indokoltnak, inkább társadalmi üzenetet látnak benne. A WHO csak akkor alkalmazná az elővigyázatosság elvét általánosan, ha olyan tudományosan megalapozott dózis-hatás összefüggéssel indokolják, amely alapján bármely kis dózistól feltételezhető egészségkárosodás. Erre azonban egyelőre nincs bizonyíték (Thuróczy 2002b).

Amit biztosan kijelenthetünk, hogy a határértékek alatti sugárzások nem okoznak egészségkárosodást, azonban ez nem jelenti azt, hogy nincs biológiai hatásuk. További kutatások szükségesek, de kellő ismeretek hiányában egyelőre az elővigyázatosság elve

önkéntesen alkalmazható. Mindezek mellett pedig hosszú távú és széleskörű epidemiológiai tanulmányok szükségesek, valamint az egyént érő külső expozíció mérése, az elektromágneses környezet tulajdonságainak feltérképezése, és a technológia fejlődésével járó változások ellenőrzése.

Speciálisan a bázisállomások telepítésére szigorú szabályok vonatkoznak, az engedélyek kiadását szakhatósági véleményhez kötik. Ennek ellenére a lakosságból még mindig ellenérzést vált ki, ha közvetlen lakókörnyezetükben található egy ilyen berendezés. (www.emf-portal.hu 2012)



3. ábra: Bázisállomás

A bázisállomások (3. ábra) tulajdonképpen antennák, amelyek adóként, illetve vevőként is működnek. Ahhoz, hogy mobiltelefonunkat már gyakorlatilag mindenütt használni tudjuk, egyre több és több bázisállomást kell telepíteni, és minél nagyobb lefedettséget, kapacitást kell biztosítani. Napjainkban a világon a mobiltelefon előfizetők száma kb. 4,5 milliárd (2011), ami egyre csak növekszik. Az új mobiltelefon előfizetők számának növekedése indokolta teszi, hogy még több bázisállomást létesítsenek. A városokban értelemszerűen sűrűbben találhatók bázisállomások, mint vidéken.

Ha megkérdeznénk egy olyan lakost, aki közvetlenül bázisállomás alatt él, vajon őt éri-e nagyobb elektromágneses sugárzás vagy a tőle 50 m-re lakót, valószínűleg úgy gondolná, hogy őt, pedig ebben téved. Ugyan a bázisállomásokból érkező sugárzás teljesítménye a távolság négyzetével arányosan csökken (valójában a beépítettségtől függően a 3,5-ik hatványával), amiből még nem következne a fenti állítás, de ha a sugárzás térbeli jellemzőit is görcső alá vesszük, akkor már árnyaltabb képet kapunk. A sugárzási karakterisztika egy körsugárzó antenna esetében egy vékony fánkhoz vagy palacsintához hasonlít, amelynek közepében az antenna van. Ezzel szemben a szektorantennák karakterisztikája legyező alakú, vagyis ezek irányítottan sugároznak. A 3. ábrán egy bázisállomás látható, hosszúkas szektorantennákkal és egy kerek átjátszóval. A bázisállomások sugárzásának karakterisztikáját leginkább egy autó fényszóróinak sugárzásához lehet hasonlítani, kis szögben lefelé irányított nyalábok. A kibocsátott hullámok térerőssége és a mérhető intenzitás emiatt éppen a bázisállomás alatt a legalacsonyabb (www.emf-portal.hu 2012).

A telepítésnél elsődleges szempont, hogy a lehető legtöbb mobiltelefonáló

számára elérhető legyen az adott szolgáltatás. Gondos mérnöki tervezés eredményeképpen tehát célszerű a települések központi részén elhelyezni az antennákat. A méretek megállapítása szintén tervezői kompetencia. Másrészt elővigyázatosságból gyermek- és egészségügyi intézmények 200 méteres körzetében nem épülhet bázisállomás. Harmadik fő szempont a természet- és műemlékvédelmi előírások betartása. Olyannyira szem előtt tartják az esztétikai követelményeket, hogy a mobilszolgáltatók nem kevés többletköltség árán is a környezettel harmonizáló antennát helyeznek el a kívánt területre. Ilyen található például Budapesten, Órmezőn (XI. kerület), ahol fenyőfának álcázták. (www.emf-portal.hu 2012)

Az Európai Tanács 1999. július 12-én adta ki 1999/519/EK ajánlását, amely korlátozza a lakosságot érő nem-ionizáló elektromágneses terek nagyságát. Az ICNIRP és a WHO iránymutatásai alapján az Európai Tanács határozta meg a határértékeket (ICNIRP 1998). Közben a Nemzetközi Rákkutató Ügynökség (IARC) 2011. 05. 31-én sajtóközleményt adott ki, miszerint a rádiófrekvenciás elektromágneses tereket a 2B kategóriába sorolták be, mint lehetséges emberi rákkeltő. Mindezt a vezeték nélküli telefonok használata és a glióma kialakulásának megnövekedett kockázata közti statisztikai összefüggésre hivatkozva jelentették be (WHO 2011).

Magyarországon az európai irányelvek érvényesek, és a szabályozást a 63/2004. (VII. 26.) ESzCsM* rendelet 1. számú melléklete tartalmazza. Ez lakossági állandó tartózkodásra $450 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ teljesítménysűrűséget enged meg 900 MHz-en. A valós teljesítménysűrűség értékek Magyarország területén elvégzett közel 6000 helyszíni mérés alapján 20, 30, illetve 50 m-re az antennától kisebb, mint 0,2, 0,05, illetve $0,01 \mu\text{W}/\text{cm}^2$. Láthatjuk, hogy ezek nagyságrendekkel alacsonyabbak a nemzetközileg meghatározott értékeknél (www.bazisallomas.com 2012).

Összefoglalva: ezeknek a sugárzásoknak az élettani hatásaival kapcsolatban eddig több, mint 12000 tudományos publikáció jelent meg. A tanulmányok nagy része azt a végkövetkeztetést vonja le, hogy a bázisállomások által kisugárzott elektromágneses hullámok nem okozhatnak betegségeket, hiszen messze a lakosságra vonatkozó határértékek alatt marad (www.bazisallomas.com 2012).

4. A személyi expozícióbecslés módszertana

Abban nincs vita a kutatók között, hogy a biológiai kutatásokkal párhuzamosan szükséges tudnunk az embert érő elektromágneses expozíciót ahhoz, hogy következtetni tudjunk a várható egészségi hatásokra. Az expozíció becslésére több ország kutatócsoportjai különféle módszereket dolgoztak ki. A kutatásokban élen járnak svájci, francia, belga és német kutatócsoportok, de összesen 18 országban folynak ilyen kutatások, beleértve Magyarországot is. A legjellemzőbb módszerek a modellezés és a mérés, illetve a kettő kombinációja. A mérések lehetnek helyszíni vagy személyi mérések, utóbbi alkalmasabbnak bizonyult az egyént érő sugárzás jellemzésére, ezért én is ezzel foglalkozom. A következőkben áttekintem a legfontosabb módszertani kérdéseket a nemzetközi szakirodalom és a saját tapasztalataim alapján.

4.1. Expozícióbecslés

Az első személyi expoziméter kereskedelmi forgalomban való megjelenése után számos országban indultak meg a mérések. A legkorábbi ilyen jellegű kutatások Franciaországban, Belgiumban, Németországban (másik műszerrel, ld. később) és Svájcban indultak.

A nemzetközi szakirodalomban eddig publikált szerény számú kísérleti eredmény megbízhatósága és összehasonlíthatósága komoly kérdéseket vet fel. Mindazonáltal egy-egy csoport eredményeinek a különböző frekvenciatartományokra való összehasonlíthatóságát tényleges hibaelemzés nélkül is jogosnak tekintjük, és ugyanezt gondoljuk a különböző mérések által mutatott tendenciákról.

Egy korai francia kutatás azt a feltételezést próbálta ellenőrizni, hogy a mobiltelefon/rádió bázisállomásoktól származó expozíció a távolsággal csökken. A kutatásban, melyben 200 önkéntes vett részt, a télerősség mérésénél sokszor detektálási határ (Detection Limit, DL*) alatt voltak az értékek. A detektálási határ feletti értékeket legnagyobb arányban az FM sáv tudhatta magáénak, azonban a télerősség maximális értéke mindig 1,5 V/m alatt volt, és 10 km-es körzetben vizsgálva csökkenő tendenciát mutatott. A GSM és DCS hullámokra az antennától mérve 280-1000 méter távolságban kapták a legnagyobb expozíciós értéket, ezzel szemben az UMTS, TV3, és TV4&5 jelek a távolsággal nem csökkentek (Viel et al. 2008).

Belgiumban 28 valós helyzetet definiáltak idő, környezet, tevékenység és hely alapján, és ezekben végeztek személyi expozícióméréseket. Azt találták, hogy beltéren a nagyarányú WLAN (0,36-0,58 V/m) és a DECT (0,33 V/m) sugárzás miatt magasabb lehet az expozíció, mint kültéren. Kültéren a GSM 900 és 1800 MHz-es bázisállomások jelei okoznak magas expozíciót (0,52 V/m), a mozgó helyzetekben (vonat vagy busz) ugyanezen frekvenciájú telefonjelek a legjelentősebbek. Ennek oka, hogy a mozgás miatt gyorsan és gyakran vált helyet és helyzetet (cellát) a telefonunk, és ezért az ablakon keresztül magasabb sugárzás éri az embert. Ezen felül ebben a tanulmányban egy SAR-bebecslési módszert is ajánlottak, és egy alkalmazását is bemutatták, ahol a GSM bázisállomások jelétől származó egész testre vonatkozó SAR-t határozták meg (Joseph et al. 2008).

Egy ezt követő francia kutatás célja már az volt, hogy meghatározza az egyént ért expozíciót, és megállapítsa az egyes sávok jelentőségét a mindennapokban. A teljes expozíció csaknem fele származott vezeték nélküli telefontól, kb. hatoda Wi-Fi-től/mikrohullámú sütőtől és szintén hatoda FM-től, valamint 11% volt minden egyéb, ami még detektálási határ felett volt. A térerősség átlagértékek közül kiemelkedőek voltak az FM (0,044 V/m), a WLAN (0,038 V/m), a DECT (0,038 V/m) és az UMTS (0,036 V/m). Az elektromos térerősség átlagértéke 0,201 V/m volt, és jellemzően átlag feletti térerősség értékeket kaptak utazás közben, városi környezetben, napközben, felnőttek között (Viel et al. 2009).

Kicsit máshogy közelítette meg az expozimetriát egy Baselben készült vizsgálat, melyben 166 önkéntes viselt 1 héten keresztül egy expozimétert, majd egy másik héten 32 résztvevő mért. Az adatokat ROS* módszerrel értékelték ki, az eredményeket teljesítménysűrűségben számolták. A Spearman korrelációs együttható a két hét átlagos expozíciója között 0,61 volt. A heti átlagexpozíció 0,13 mW/m²-nek adódott, ami 0,22 V/m-nek felel meg, vagyis jó egyezést mutat a francia értékkel. Azonban itt a teljes expozíció harmada a mobiltelefon bázisállomásoktól származott, 29,1% a mobiltelefonoktól és 22,7%-a a vezeték nélküli telefontól (DECT). Azok a személyek, akik DECT-et vagy mobiltelefont birtokoltak, átlagban 0,15 mW/m² expozíciót mértek, míg aki nem rendelkezett ilyennel, azt csak 0,10 mW/m² átlagos expozíció érte. A legmagasabb értékeket vonaton (1,16 mW/m²), repülőtéren (0,74 mW/m²) és villamoson/buszon (0,36 mW/m²) mérték, vagyis utazás közben, ahogy francia társaik. A napközbeni expozíció (0,16 mW/m²) a duplája volt az estinek (0,08 mW/m²). Az

eredmények alapján elmondható, hogy városi körülmények között ilyen expozíció jellemzi a lakosságot, ugyanakkor az expozíció nagysága sok egyéni tényezőtől is függ (pl. min utazik az illető, milyen eszközei vannak, stb.) (Frei et al. 2009a).

Vannak kiemelt helyszínek, melyek expozíciós tulajdonságainak a feltérképezése kulcsfontosságú lehet. Ilyen például a hálószoba, ahol életünk 1/3-át töltjük. Egy ezzel foglalkozó osztrák vizsgálat megállapította, hogy itt a legnagyobb elektromágneses télerősségű értékek a mobiltelefontól, a vezeték nélküli telefontól és a WiFi-től származtak. Továbbá az elektromágneses tér teljesítménysűrűségének mindössze csak 15%-a származik házon belüli forrásokból, míg 85%-a külső forrásokból érkezik. Ezek alapján azért ajánlott a készülékeket (főleg a vezeték nélküli telefont és a WiFi-t) az ágytól távol elhelyezni, vagy kikapcsolni éjszakára. Ezzel számottevően csökkenthető a minket ért besugárzás, ami fontos lehet egy olyan helyen, ahol életünk jelentős részét töltjük el (Tomitsch et al. 2010).

Fontos az újonnan megjelenő technológiai alkalmazások mérése, vizsgálata is. Az egyik ilyen a már széles körben elterjedt WiFi vagy WLAN. A WLAN jelről tudni kell, hogy nem folyamatos, így csak átlagos teljesítménysűrűséget tudunk mérni. Egy belga tanulmányban kimondottan a WiFi-től származó expozíciót vizsgálták. A felmérésben 222 hozzáférési pontot vizsgáltak, 7 WiFi hálózattal, irodai környezetben. A WLAN expozíció karakterisztikáját elsőnek egy Wilab-ban (WiFi-s számítógépterem) jellemezték, itt az átlagos expozíció 0,12 V/m volt, amikor a Wilab nem működött. Azonban a működése alatt az átlagos expozíció 1,9 V/m-re nőtt, de fontos megjegyezni, hogy ez még így is jelentősen alatta van az ICNIRP által meghatározott 61 V/m-es ajánlásnak (Verloock et al. 2010).

A mobiltelefonok körében újonnan megjelent technológia az LTE*, amely a mobiltelefonok 4. generációjának tekinthető. Ez egy olyan hálózat, mely az adatforgalmat jelentős mértékben meggyorsítja (300Mbit/s). Felmerült az igény annak megmérésére, hogy az új technológia milyen részarányban szerepel a rádiófrekvenciás expozícióban valódi városi körülmények között, mekkora a mértéke és ez megfelel-e az ICNIRP határoknak. Az LTE kétsávnál, azaz 2630 MHz-en és 2660 MHz-en működik. Stockholmban végeztek méréseket, ahol azt találták, hogy egyértelműen a GSM dominál (~62%), ezt követi az UMTS (~25%), míg az LTE az átlagos teljesítménysűrűséghez általában 4%-kal járul hozzá. Az értéke 0,02-0,8 V/m volt, azaz

maximális esetben 23%-os részesedést tudhatott magáénak egyes körülmények között, és messze alatta marad az ICNIRP ajánlásoknak (Joseph et al. 2010a).

Ezek a mérések mind ugyanazzal a francia műszerrel (ld. következő fejezet), illetve annak egyre újabb verzióival zajlottak, azonban ezzel párhuzamosan Németországban is kifejlesztettek egy személyi expozimétert. Alkalmaztak továbbá egy ehhez kapcsolódó protokollt, ami sokkal inkább epidemiológiai jellegű volt, mint fizikai felmérés.

Az első ilyen, egy 2008-as német felmérés, 329 bajor felnőttet vizsgált. Ennek során ESM-140-es expozimétert (ld. később), valamint akut és krónikus tünetekre, közérzetre és szocio-demográfiai jellemzőkre vonatkozó kérdőívet alkalmaztak. Az eredményt tekintve az expozíciók messze az ICNIRP által ajánlott értékek alatt voltak, a tünetekkel pedig nem találtak statisztikailag összefüggést (Thomas et al. 2008a). Később ugyanezt a vizsgálatot kiterjesztették 4 bajor városból való további kb. 1500-1500 gyerekre és kamaszra. Az eredmények itt is hasonlóak voltak, az expozíció 0,18-0,19%-a volt az ICNIRP határértékeinek (Thomas et al. 2008b), és nem volt statisztikailag szignifikáns kapcsolat az egészségi zavarok (fejfájás, idegesség, koncentrációs zavar) és az expozíció között (Heinrich et al. 2009). A 24 órás mérések eredményeiből 3 perces intervallumokat alapul véve, a maximumokra nem-paraméteres függvény-közelítést alkalmazva, 2 expozíciós csoport jött létre: alacsony expozíciójú (88%) és magas expozíciójú (12%). Ez jó egyezésben volt az egyszerű átlagokkal és a felső 90% levágásával képezett csoportokkal, azonban a szerzők szerint ez nem ad okot általánosításra (Kühnlein et al. 2009).

A társadalmi-gazdasági helyzettel való kapcsolat vizsgálatakor megállapították, hogy az alacsonyabb sorba tartozó gyerekek és kamaszok saját bevallásuk szerint többet használnak a telefonjukat, mint a jobb sorú társaik. Az expozíció és a státusz között azonban nem találtak összefüggést (Thomas et al. 2010a). Ugyanezen a csoporton ugyanez a kutatócsoport viselkedésbeli változásokat is vizsgált, melynek során megállapították, hogy a Képességek és Nehézségek Kérdőív (SDQ) kitöltésében a gyerekek 7%-a és a kamaszok 5%-a mutatott mentális rendellenességet. Ez a kamaszok esetében összefüggésben volt a magasabb expozícióval, de a gyerekeknél nem. Találtak még összefüggést magatartási problémákkal is, azonban itt további vizsgálatokat tartanak szükségesnek (Thomas et al. 2010b). Ugyanezen kutatócsoport 2011-es cikke

szerint nem volt összefüggés a leggyakrabban említett krónikus tünetnek minősített fáradtság és az expozíció mértéke között (Heinrich et al. 2011).

A kutatók azonban hamar rájöttek, hogy a személyi expozimetriás mérések költségesek, időigényesek és nehéz olyan résztvevőket találni, akik elegendően elkötelezettek és hosszabb időn keresztül is vállalnák a mérést. Ezért szükség lenne olyan expozícióbecslési módszerekre, amelyek lehetővé teszik, hogy ne kelljen minden egyes tanulmányban egyéni méréseket elvégezni. Egy francia tanulmány szerint az egyik alkalmas előrejelzési tényező a hét napja lehetne. A tanulmány során 34 ember végzett mérést egy teljes héten át, és az eredmények kiértékelésénél statisztikailag szignifikánsan különböző értékeket kaptak a hét egyes napjaira. Az eredményekben a különbségek azonban kismértékűek voltak, ezért egy nagyobb szabású tanulmány elkészítése lenne javasolt, hogy kellő bizonyítékkal szolgáljon arról, hogy a hét napja igenis fontos tényező az RF expozíciót illetően (Viel et al. 2011).

Két belga tanulmány is megpróbált egyszerűsítési eljárást kidolgozni, az egyikben az átlagos és maximális mobiltelefon adatforgalomból próbáltak következtetni az átlagos és maximális expozíció nagyságára (Joseph et al. 2009). A másikban különböző faktorok használatával a rövid mérési periódusokból becsültek hosszabb időtávokra, mind maximális, mind medián expozíciót (Joseph et al. 2010b).

A mérések alapján való becslések mellett megjelent, majd egyre inkább elterjedt a különböző térinformatikai modellek alkalmazása. A legkorábbi ilyen egy svájci tanulmány volt, melynek célja egy olyan modell kidolgozása volt, amely a korábbi mérések tanulságai alapján megfelelően becsli az egyént ért expozíciót. A becsléshez két adatforrást használtak, az egyik az expozícióval kapcsolatos tényezők felmérése volt (szokásos dolgok: van-e WiFi a lakásban, ház karakterisztikája, mennyit tömegközlekedik, stb.), míg a másik a környéken lévő adótoronyokra vonatkozott (Frei et al. 2009b).

Később, szintén Svájcban, kifejlesztettek egy térinformatikai modellt, amely az elektromágneses tér erősségét számolja az adótornyok környezetében, méghozzá nagyfelbontásban, azaz 1 méterenként. A modell figyelembe veszi az átjátszók helyét és mintázatait, a 3 dimenziós topográfiát és az épületek hatását. Az ellenőrzésére 20 mérés zajlott le Baselben és 18 Bubendorfbán kültéri körülmények között (Bürgi et al. 2010a). Később ugyanez a kutatócsoport a kültéri becslésekre használt modellnek benti körülményekre is használható kiterjesztését is elvégezte. Ennek tesztelése is Baselben

történt. A modelleknel fontos feladat azon faktorok beépítése, amelyek befolyásolják a mérési értékeket. Egy az adóktól származó rádiófrekvenciás elektromágneses teret vizsgáló tanulmány szerint a beltéri expozíció megállapításánál több módosító faktorrall kell számolnunk, mint a kültéri mérés esetén (Bürgi et al. 2010b). Például az expozíció értékét a lakásban befolyásolhatják az akadályok, a bútorok és a fal abszorpciója, reflexiója. Ezek függnek a frekvenciától, a beérkezési szögtől, a tárgy anyagától és vastagságától. A modellek az utcára 0,45 V/m-t, az ablakra 0,28 V/m-t, belülre 0,12 V/m-t jósoltak, ezzel szemben a mért értékek (sorrendben) 0,37 V/m, 0,25 V/m és 0,13 V/m. Ezek szerint a modell a kinti értékeket túlbecsülte, míg a bentieket alul. A kinti eltérésre magyarázat lehet, hogy a vegetációt nem vette számításba a használt modell. Az is megfigyelhető volt, hogy a nagy térerősségű forrásokat (pl. GSM) túlbecsülték, míg az alacsonyokat (pl. UMTS, FM rádió) pedig alul. (Bürgi et al. 2010b).

A svájci kutatócsoport egy átfogó vizsgálatának célja pedig kettős volt: az egyén saját mobiltelefonjának az expozícióját mérni a teljes expozícióhoz képest, továbbá értékelni az egyes expozíciós becslési módszereket, amelyek hasznosak lehetnek az epidemiológiai tanulmányokban. Egy héten keresztül végeztek személyi méréseket 166 önkéntes részvételével, továbbá a résztvevők hálószobájában helyszíni méréseket (1. módszer). Becsülték az expozíciót az önkéntes által megadott adatok alapján (2. módszer), illetve értékelték a lakossági expozíciót a fix helyen lévő adótornyok távolsága alapján (3. módszer). Becslést végeztek a térinformatikai terjedési modell segítségével (4. módszer), valamint a kifejlesztett saját expozícióbecslési modelljükkel, az expozíciós viselkedés és a terjedési modell kombinációja alapján (5. módszer). Az átlagos személyi expozíció $0,13 \text{ mW/m}^2$ volt, ha nem számították bele a saját mobiltelefont, míg $0,15 \text{ mW/m}^2$ volt, ha belevették. Ezután a saját mobiltelefon használata nélküli adatsorral korrelációs értékelést végeztek az egyes becslési módszerek és a ténylegesen mért értékek között, ehhez a Spearman korrelációs vizsgálatot használták. Az 1. és 5. módszer jól korrelált a mért értékekkel, míg a 2. és 3. módszer nagyon rosszul (Frei et al. 2010).

Bármelyik módszer mellett tesszük is le a voksunkat, az expozíció eloszlását feltétlenül tudnunk kell ahhoz, hogy az egészségügyi kockázatot értékelni tudjuk. Ebben pedig alapvető fontosságú, hogy a vizsgálat eredményei reprezentatívak és összehasonlíthatóak legyenek, így az expozíciós különbségek a valós különbséget tükrözhetik, és nem a módszertani különbségeket. A mérések összehasonlítására csak

akkor válik lehetőség, hogyha egységes módszertan alapján készülnek (Röösli et al. 2010).

Dr. Martin Röösli, a baseli kutatócsoport vezetője, egy összefoglaló módszertani írásban bemutatja az expozíciómérési módszer alapvető elemeit, amiket figyelembe kell venni a jövőben, annak érdekében, hogy a tanulmányok összehasonlíthatóbbak legyenek. A rádiófrekvenciás személyi expozimetria továbbra is fiatal kutatási területnek számít, ezért minden ilyen jellegű ajánlás csak a korábbi tapasztalatokból ered, s bizonyára a további vizsgálatok is szolgáltatnak új eredményekkel és felismerésekkel. Mindazonáltal ez a cikk, olyan szerzők közreműködésével jött létre, akik nagy tapasztalattal rendelkeznek ezen a kutatási területen, és az itt leírtakkal mindannyian egyetértettek. A leírtak csak ajánlások a későbbi vizsgálatokhoz, és számos ponton bővíthetők, például a hollandok az ELF-t is beleveszik a mérésekbe (Röösli et al. 2010).

Elvileg epidemiológiai tanulmányokban is lehetne expozimétert használni és közvetlenül mérni az egyéneket ért expozíciót. Ez azonban hatalmas költségekkel járna, sok időbe telne, és olyan, a módszerek betartása szempontjából fegyelmezett résztvevőkre lenne szükség, akik hosszú időn keresztül vállalják a mérést. Azonban a személyi expozimetriás mérések eredményei segítségével képet kaphatunk a lakosságot ért expozícióról, annak eloszlásáról, és a fontos befolyásoló tényezőkről, valamint ezek a tanulmányok segíthetik a módszertannak a fejlődését. Az epidemiológiai tanulmányoknál nagy szükség lenne olyan módszerekre, melyek megbízhatóan becsülik az expozíciót, mivel csak ezek adhatnak megfelelő választ arra, hogy milyen egészségügyi kockázata lehet a RF-MH térnek. A közvélemény aggódik a lehetséges káros hatások miatt, azonban a módszertanilag megbízható tanulmányok ritkák, és a közzétett vizsgálatok nem teszik lehetővé az egyértelmű következtetések levonását (Röösli et al. 2010).

Ha tehát az expozíció becslésére a személyi méréseket választjuk, akkor az alkalmazott módszernek három fontos lépése van: az adatgyűjtés, az adatok feldolgozása, végül az adatok kiértékelése és az eredmények elemzése. Lényeges, hogy ezen a területen az alkalmazott kutatási módszer egyelőre nem egy kidolgozott és egységes protokollt jelent, tehát a módszertani fejlesztés a kutatómunkám részeként folyamatosan zajlott. Ezért a módszerről a saját kutatásaimat összefoglaló III. részben is

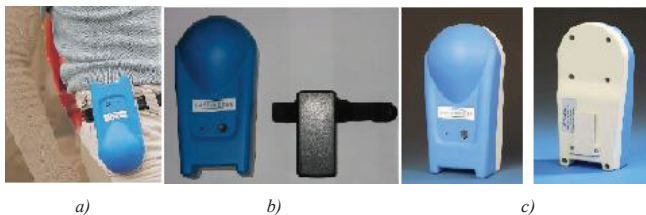
szó lesz, de az itt következő fejezetek is tartalmazzák a szakirodalmi áttekintéshez logikailag kapcsolódó saját tapasztalataimat.

4.2. Adatgyűjtés

Az adatgyűjtés legfontosabb eleme a mérőműszer, azaz a személyi expoziméter, amellyel az önkéntesek expozícióját regisztráljuk.

4.2.1 Műszerek

Egy jó személyi expoziméternek sok követelménynek kell megfelelnie. Tekintve, hogy a vizsgált személynek magával kell hordoznia, így elsősorban hordozható méretűnek kell lennie. Ezen kívül a különböző sugárforrások megkülönböztetése miatt az egyes frekvenciákat különválasztva kell mérnie, a méréshatároknak pedig alkalmazkodniuk kell a valós jel nagyságokhoz, amelyek egyébként általában jóval az aktuális ajánlások és határértékek alatt vannak. További lényeges követelmény az izotrópia, azaz hogy a benne lévő mérőantenna a tér 3 irányát lefedje, valamint az, hogy a memóriája elég nagy legyen ahhoz, hogy egy tipikus emberi cikluson, vagyis 24 órán át megfelelő időközönként gyűjtse az adatokat. (Thuróczy et al. 2008)



4. ábra: Személyi expoziméterek

Jelenleg a piacon kétféle személyi expoziméter (PEM) kapható. Az egyik egy továbbfejlesztett francia készülék, a másik egy német. Az első PEM a francia Antennessa cég által 2005 körül kifejlesztett DSP-090 volt. Ez a műszer elég nagy volt (450 gramm), a gyártó által javasolt viselési mód a képen látható (4.a) ábra, de tekintve, hogy a mérőeszköz majdnem fél kilót nyom, nem várható el az alanyoktól, hogy így hordják.

A méréshatárai 0,05 és 5 V/m voltak, frekvenciák szerint pedig az FM rádió (FM), a TV-VHF (TV3), a TV-UHF („TV4&5”), a GSM 900 telefonok („GSMtx”), a GSM 900 bázisállomások („GSMrx”), a GSM 1800 telefonok („DCStx”), a GSM 1800

bázisállomások („DCSrx”), a 3G telefonok („UMTSrx”) és a 3G bázisállomások („UMTSrx”) sugárzását mérte. Izotróp volt, azonban a memóriája csak annyira volt elég, hogy egy 24 órás mérés alatt 15 másodperces mintavétellel dolgozzunk (www.antennessa.com 2007). Ez számos esetben nem elegendő, hiszen például egy SMS küldést és -fogadást, de akár egy rövidebb telefonbeszélgetést is elszalaszthatunk a mérés alatt ezzel a mintavételi gyakorisággal. Ezt a műszert a kor és az igények sok szempontból túlhaladták: kevés frekvenciát (azaz forrást) mért (hiszen ott vannak még a vezeték nélküli otthoni telefonok, és a mikrohullámú sütők, de az egyre terjedő WiFi is), kicsi volt a memóriája, viszont nagy a mérete, és a méréshatárai se voltak kielégítőek (az alsó nem elég alacsony, a felső nem elég magas).

Ezért 2006-ban a német Maschek Elektronik új berendezést fejlesztett ESM-140 típusjelzéssel. Ez a műszer sok szempontból jobbnak bizonyult francia társánál, különösen a méretét tekintve (4.b) ábra), mivel lényegesen kisebb volt, a memóriája viszont jóval nagyobb, a méréshatárai tágabbak, és a mobiltelefonok frekvenciái mellett a 2,45 GHz-es WLAN (illetve mikrohullámú sütők), valamint az otthoni vezeték nélküli vonalas telefonok (DECT) sugárzását is mérte. Azonban számos ponton alulmaradt, mert a mért sávok közül kimaradtak a rádió- és TV-adók, valamint a tér 3 iránya közül csak két tengely irányában mért. Ráadásul a frekvencia-szelektivitása sem volt kielégítő, gyakran átfedték egymást a különböző sávokhoz tartozó jelek. Így végül, amikor az Antennessa még 2006 folyamán piacra dobta a DSP-120-at, amely már több hiányosság kijavítása után készült el, a nemzetközi kutatásokban ez utóbbi francia műszert kezdték használni. Közben az Antennessa cég megszűnt, és ma az ELTE-TTK Atomfizikai Tanszékén utódja, a szintén francia Satimo –még újabb– EME Spy 121 típusú mérőeszközét használjuk, melynek az idők során egyedül a méretén nem tudtak javítani. A 4. és 5. táblázat foglalja össze a tulajdonságok összehasonlítását: (www.antennessa.com 2007, www.maschek.de 2007, www.satimo.com 2008)

Tulajdonságok	DSP 090	ESM-140	EME Spy 121
Méretek (cm, gramm)	20×10×8, 450	12×5×3, 87	19×10×7, 450
Izotrópia (tengelyek száma)	3	2	3
Méréshatárok (V/m)	0,05-5	0,01-70	0,05-10
Mért sávok száma	9	8	12
Időbeli felbontás 24h-ra (sec)	15	0,1	7

4. táblázat: Az expoziméterek jellemzői

Csatornák	DSP 090	ESM-140	EME Spy 121
FM	+		+
TV3	+		+
TETRA			+
TV4&5	+		+
GSM tx	+	+	+
GSM rx	+	+	+
DCS tx	+	+	+
DCS rx	+	+	+
DECT		+	+
UMTS tx	+	+	+
UMTX rx	+	+	+
WLAN		+	+

5. táblázat: Az expoziméterek által mért sávok (www.antennessa.com 2007, www.maschek.de 2007, www.satimo.com 2008)

Az expoziméterek gyakorlatban történt összehasonlítását és a mérés módszertanával kapcsolatos tapasztalatokat a III. részben részletezem.

A Satimo 2010-ben piacra dobta az EME Spy 140-et, amely a 121-es modell továbbfejlesztett változata. Az alsó méréshatárát levítették 0,005 V/m-ig, ami nagy előny, azonban a felső határt visszavették 5 V/m-re. A memóriáját is bővítették, viszont 24 órás mérésben így is csak 4 másodpercenkénti mintavétel lehetséges. A korábbi 12 csatornát kibővítették még kettővel: WiMAX* (3400-3800 MHz) és WiFi 5G (5150-5850 MHz), de Magyarországon ezekkel még jó ideig nem kell tömegesen számolni. Ellenben hatalmas visszalépés a 121-es Li-ion akkumulátora után, hogy a 140-es tölthető elemekkel működik. Ezen kívül a legsúlyosabb probléma, hogy az izotrópia megtartása mellett a méretén nem sikerült számottevően javítani (17×8×5 cm és 410 gramm) (www.satimo.com 2011). Márpedig a mérés legnagyobb bizonytalansága a kísérleti alany viselkedése. Néhány vizsgálat szerint a mérés pontosságának szempontjából kulcsfontosságú a mérőműszer viselésének módja (Juhász et al. 2009), ugyanakkor a kísérleti alanytól nem várható el, hogy olyan módon hordja, ahogy az számára kényelmetlen.

A műszereket még további számos ponton lehet javítani a jövőben, ami még könnyebbé és jobbá teheti a méréseket (pl. kisebb súly és méret, kezelhetőség, stb.).

Különösen hasznos lenne egy GPS beépítése, hiszen ezzel lehetővé válna a pontosabb helymeghatározás, illetve az önkéntesek által besolgáltatott adatok ellenőrzése. A mért térerősség-adatokat akár egy Google® térképen be lehetne jelölni a koordináták alapján, ami szintén hasznos lenne a későbbiekben (Röösli et al. 2010).

A készülékeket a gyárban előre bekalibrálják, azonban ez a beállítás idővel elcsúszhat. A műszer leeshet, megsérülhet, illetve az is hibát okozhat, ha az önkéntesek nem rendeltetésszerűen használják. Egy működési teszttel megállapíthatjuk az alapállapottól való eltérést, és így bármikor változtathatunk a mérés pontosságán. Amikor új résztvevőhöz kerül a mérőeszköz, célszerű egy ilyen teszt lefuttatása. Alapvető követelmény ezeknél a teszteknel, hogy megismételhető expozíciós helyzetet teremtsünk az összes frekvenciasávban (Röösli et al. 2010). Ez azonban csak megfelelő labor-felszereltség esetén kivitelezhető, én ennek hiányában a kisebb költséget jelentő, gyártó által javasolt 2 évenkénti újrakalibrálást választottam.

A mérőműszerben számos egyéb bizonytalanság rejlik. A mérési tesztek azt a tendenciát mutatják, hogy az adatok alulmérték, ezért korrekciós faktorok bevezetése szükséges. Egy osztrák tanulmány a viselő személy hatását vizsgálta a mérések eredményére, és azt találták, hogy a műszert hordozó ember befolyása mind kültéri, mind benti körülmények között több frekvenciasávon is alulbecslést okoz. 100 MHz-nél a legpontosabbak a mért értékek, a GSM 900-as frekvencián pedig a legpontatlanabbak, a mért adatok 70%-a alulmért. Továbbá az is látszik, hogy a különböző testrészeken elhelyezett készülékek mérése között nagy eltérések is lehetnek pl. karon 100 MHz-en 1,68 V/m, míg csípőn csak 0,77 V/m értékeket mértek. Ezek alapján kijelenthető, hogy a mérőműszer viselésének helye döntően befolyásolhatja a mérési adatokat. Az is megállapítható, hogy azokban az esetekben magasabb mért értékeket kapunk, amikor az alany számára a forrás látható helyen van, illetve mikor az alany a műszer és a forrás között helyezkedik el (Neubauer et al. 2010).

Egy holland tanulmány hasonló következtetésre jutott, és azt javasolták, hogy használjunk egy frekvenciafüggő korrekciós tényezőt (melynek értéke 1,1–1,6 közötti) az elektromos térre. A korrekciós tényező értéke három dologtól függene: a kalibrálás pontosságától, a sugárnyaláb érkezési szögétől, és a test árnyékoló hatásától (Bolte et al. 2010). A gyártó leírása szerint az ESM-140-es kalibrációjánál figyelembe vették a test árnyékoló hatását, azonban kizárólag jobbkezes használó és a jobb felkarra erősített műszer esetén (www.maschek.de 2007).

4.2.2. Szervezés

A mérés időtartamának minimum 24 órának kell lennie ahhoz, hogy reprezentatív legyen, viszont az 1 hetet nem célszerű meghaladni, mivel ez az adatok minőségének a leromlásához vezethet. Egyrészt, mert a hosszabb méréseknél a memória nem elég ahhoz, hogy kellően rövid mintavételi intervallumot tudjunk beállítani, másrészt pedig az idő múlásával a napló vezetésének pontossága és részletessége csökken. Alapszabály, hogy a személyi felméréseknél a lehető leghosszabb mérési időtartamra kell törekedni, míg a mikrokörnyezeti vizsgálatoknál arra, hogy sok mérési adat legyen, és rövid ideig tartson a mérés (Röösli et al. 2010).

A személyi méréseknél a megfigyelés egysége az egyén, ezért véletlenszerű kiválasztás szükséges ahhoz, hogy megbízható eredményeket kapjunk, míg a mikrokörnyezetes méréseknél, olyanokat kell kiválasztanunk, akik „viselkedése” megfelel a vizsgálati területünknek (pl. utazik vonaton, egyetemre jár, stb.). Egy lakossági felméréshez a résztvevőket a nyilvántartási hivatal segítségével is ki lehet választani, de a lakosság aggodalma a témában talán ösztönzőleg hathat a részvételi arányra. A kiválasztáshoz egy kétszintű módszer javasolt. Első körben egy rövid kérdéssor arról, hogy milyen expozíciós eszközökkel rendelkezik a célszemély, illetve vállalna-e mérést. Az így gyűjtött adatok felhasználhatóak lehetnének arra, hogy megismerjük a társadalom „expozíciós viselkedését” és a társadalmi-gazdasági tényezőket. A kiválasztottak nagyon sokféle kategóriába sorolhatóak lennének különböző szempontok szerint. Ilyenek például: kor, nem, lakóhely típusa (városi, vidéki, külvárosi), idő (hétköznapi/hétvége, nappal/éjjel), stb. Ajánlott, hogy ezek a kategóriák is legyenek szinte egységesek, tehát életkornál az alábbi csoportosítást használjuk: általános iskolás (7-12 év), középiskolás (13-19), fiatal felnőtt (20-35), felnőtt (35-nyugdíjas korhatárig), nyugdíjas. Látható, hogy már egy-egy résztvevő is számos kategóriába tartozhat, így kevés olyan ember lesz, akik minden kategóriában megegyeznek egymással. Természetesen a jövőben a kategóriák tovább bővíülhetnek. Szükséges továbbá az egyéb tényezőket is felhasználnunk a tanulmány során, mint például, hogy a résztvevő használ-e vezeték nélküli internetet, utazik-e tömegközlekedésen, stb. (Röösli et al. 2010).

A mikrokörnyezetes vizsgálatokhoz a résztvevők kiválasztása más módon történik, már csak azért is, mert itt olyan egyénekre van szükségünk, akik megfordulnak az adott mikrokörnyezetben (pl. vonat). Azonban az önkéntesek nem tartózkodnak

folyamatosan egy adott mikrokörnyezetben (pl. vasútállomáson), így kevesebb adatot tudunk gyűjteni egy adott mérési periódus alatt (Röösli et al. 2010).

A legmegfelelőbb eset az lenne, hogyha a kutató elmenne az önkéntes lakására, megmutatná neki a mérőműszert és közben felmérné a ház karakterisztikáját. Azonban ez nehezen kivitelezhető, így a résztvevő önkéntesek elmennek az intézetbe, ahol megkapják az útmutatást és az expozimétert. Nyilván ez már nem egy tipikus nap számukra a mérés szempontjából, ezért a végén figyelni kell rá, hogy ez a mikrokörnyezet ne legyen túltreprezentált az eredményekben (Röösli et al. 2010). Ez az általam végzett három felmérés egyikénél sem jelentett problémát, mivel a diákok az egyetemen kapták meg a műszert, a bázisállomások közelében élők a lakóhelyükön, a pedagógusok és hivatalnokok pedig a munkahelyükön.

A fentieknek megfelelően a vizsgálatok egyik nehézsége logisztikai természetű: az önkéntes mérési alanyok toborzása és a mérések folytonosságának megszervezése, azaz, hogy amikor az egyik kísérleti személy befejezte a mérést, akkor az adatok letöltése után lehetőleg legyen egy következő személy, aki elkezd az újat, és így tovább...

A fentebb bemutatott három műszerben közös vonás, hogy egyiken sincs semmiféle kijelző, a mérési adatokat a memóriájukban tárolják. A mérés eredményei utólagosan számítógéppel kerülnek feldolgozásra és kiértékelésre, ami alapján képet kapunk a vizsgált személy elektromágneses expozíciójáról. Ehhez természetesen szükséges tudnunk a nap során végzett tevékenységeket, azok helyszínét, időpontját és időtartamát.

4.2.3. Dokumentáció

Az önkénteseknek a mérés során egy cselekmény–idő naplót kell vezetniük. Ez leírást ad arról a mikrokörnyezetről, amiben éppen tartózkodik az illető. Ennek a naplónak a felépítését tekintve egyszerűnek és könnyen kezelhetőnek kell lennie, viszont tartalmaznia kell mindazon adatokat, amik a későbbi analízis során szükségesek lehetnek. A kitöltés minőségénél nagyban számít az önkéntesek motiváltsága, általánosan elmondható, hogy a véletlenszerűen kiválasztott lakossági felmérésekben résztvevők kevésbé motiváltak a másik csoporthoz képest. A mikrokörnyezetek későbbi összehasonlítása érdekében a következő kategóriák felvétele ajánlott a naplóba: otthon (hálósobában, konyhában, stb.), kint, vásárlás közben, autóvezetés közben,

tömegközlekedésen, iskolában, és a lista tovább bővíthető. A papír-alapú kitöltés helyett egy kézi számítógép használata megkönnyíthetné a résztvevők munkáját, ám ennek feltételeit meg kell teremteni.

Az expoziméter nem képes különbséget tenni az alany saját eszköze (pl. mobilja) és más eszközök között, hogyha azok a műszertől ugyanolyan távolságra vannak, pedig az önkéntes saját eszköze sokkal közelebb van a testéhez, így ettől valójában nagyobb mértékű az expozíció az alany számára. Emiatt ajánlatos az önkéntesek azon eszközeiről információt beszerezni, amelyek RF-MH-t sugároznak. Továbbá mobiltelefon esetén az adatforgalom lekérhető a hálózat szolgáltatójától, vagy újabb típusú telefonok esetén maga a készülék eltárolja. Harmadik lehetőség, hogy rögzítik hívásaikat a naplóban, vagy nyomnak egy „esemény gombot” az expoziméteren. Továbbá célszerű egy kérdőívet kitölteni a résztvevőkkel az expozíciós eszközeikről, azok használatáról, helyükről a lakásban, használat gyakoriságáról, a ház karakterisztikájáról, a szociális-gazdasági helyzetükről és mindazon tényezőkről, melyek befolyásolhatják az expozíció mértékét (Röösli et al. 2010).

Fontos kérdésnek számít, hogy az expozimétert hova helyezzük. Az előző tanulmányok azt javasolták, hogy egy kameratáskába rakjuk, figyelve arra, hogy a mobiltelefont ne rakjuk ugyanoda. Az expozimétert az önkéntesnek mindenhova magával kell vinni, például ha átmegy egyik szobából a másikba, illetve nem szabad hagyni, hogy egy helyben legyen, óránként el kell mozditani kismértékben, hogy reprezentatívabb eredményeket kapjunk. Figyelmeztetni kell a résztvevőket továbbá, hogy a mérőeszközt ne tegyék a padlóra, ablakpárkányra, fal közelébe, vagy elektromos készülék közelébe, mert az befolyásolhatja a mérési eredményeket (Röösli et al. 2010).

A fentiekkel nagyrészt egyezésben a saját protokollom szerint minden mérési alanyunk adtam egy csomagot, amely tartalmazott egy egyoldalas tájékoztatót a mérésről, egy demográfiai jellegű kérdőívet (amit természetesen szigorúan bizalmasan kezeltem), továbbá egy mérési naplót, amelyben táblázatos formában kellett rögzíteniük a napjuk idő-aktivitás részeit (2.sz. melléklet).

A tájékoztatóban leírtam, hogy a táblázatba az 5 percnél hosszabb idejű cselekményeket kell feljegyezni, valamint az összes készülékhasználatot, különösen a mobiltelefonét, legyen az bármilyen rövid időtartamú, vagy akár nem fogadott hívás. Öt fő tevékenységtípust különböztettem meg: Otthon, ezen belül külön az éjszakai Alvás,

Munkahely, Utazás (ebbe a megállóig tartó séta is beleszámított) és Egyéb tevékenység (sport, szórakozás, bevásárlás, vagy a diákmunka, stb.).

Mint ahogy egységes, általánosan elfogadott protokoll egyelőre nincs, ezért eleinte minden esetben csak azt kértem az alanyoktól, hogy az expoziméter(ek)e)t használat során lehetőség szerint hordják mindig a közelükben, táskájukban, övön, ágy mellett, íróasztalon, hogy a mért értékek a lehető legjobban közelítsék az őket érő valós expozíciót. Később már egy, az OSSKI laborjában elvégzett kísérletsorozat alapján az alanyok egy övtáskában kapták meg a műszert (Juhász et al. 2009).

A kísérleti alanyok viselkedése azonban nem kontrollálható, ez a mérés egyik legnagyobb bizonytalansága. Nem tudjuk igazán befolyásolni és ellenőrizni, hogy hol hordja az eszközt, mindenhová viszi-e magával, és mindent pontosan felír-e (néhány esetben a spektrumból látszik, hogy nem volt pontos a jegyzetelés). Ezt a problémát részben megoldaná egy GPS beépítése, azonban épületen belül még úgy is lehetnek problémák.

Éppen ezért egy svájci kutatócsoport nemrégiben egy okostelefon-alapú expoziméter ötletével állt elő. A mérőegységgel Bluetooth-on keresztül összekapcsolt smartphone képes lenne a saját készüléktől származó expozíciót külön regisztrálni a környezetből jövő egyéb sugárzásoktól. A beépített, infravörös elven működő távolságmérő akár rögtön tudná becsülni a készüléktől származó SAR-t is. A helymeghatározó rendszernek köszönhetően nem szükséges napló vezetése, a készülék mindig hozzárendelné a mérési adatokhoz a helykoordinátákat (~20 méteres pontossággal). A dokumentáció a telefonon zajlana, minden hozzá szükséges szoftver alkalmazásként letölthető lenne a telefonra. Ez egy lényegesen olcsóbb és kompaktabb eszköz lenne a jelenlegi expoziméterekhez képest, és segítségével csökkenteni lehetne a mérések műszerben rejlő jelenlegi bizonytalanságait (Lauer et al. 2011).

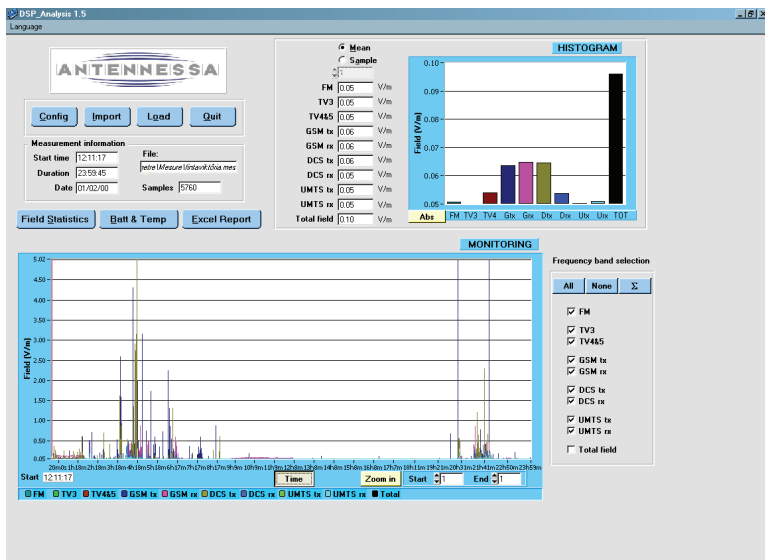
4.3. Az adatfeldolgozás

A vizsgálat következő pontja a mérési adatok feldolgozása. Ahogyan a mérés, úgy a feldolgozás és kiértékelés is –ahogy korábban láttuk– nemzetközi viszonylatban kidolgozatlan. Erre sincs egységes protokoll, keressük a megfelelő módszereket és a jellemző mennyiségeket is. Ezért egy saját feldolgozási és kiértékelési folyamatot kellett kidolgoznom, annak minden részletével együtt.

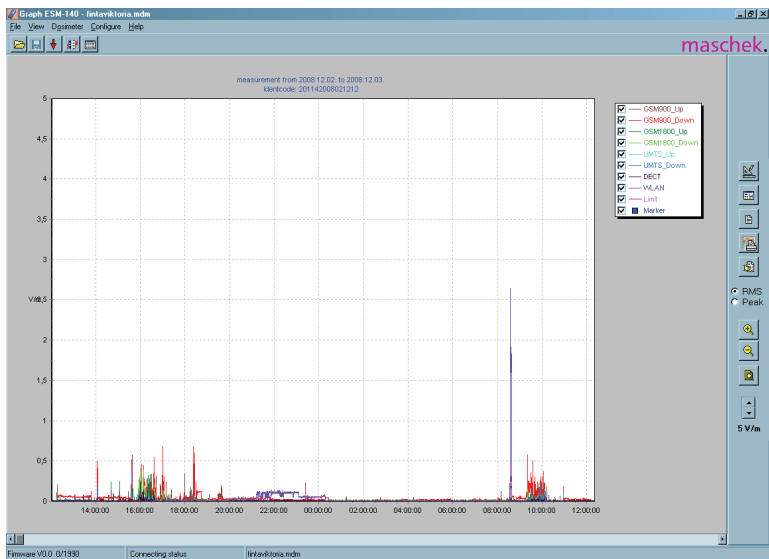
Amikor a mérés végén az alany visszaadja a PEM-et, a kitöltött naplót és kérdőívet, az adatokat V/m térerősség egységekben kapjuk meg a PEM-hez tartozó szoftverben ábrázolva.

Az adatok feltöltésekor az expoziméter programja típustól függően, mes/mdm/bin kiterjesztésű fájlokat és az alábbiakhoz hasonló ábrákat készít (5.-7. ábra).

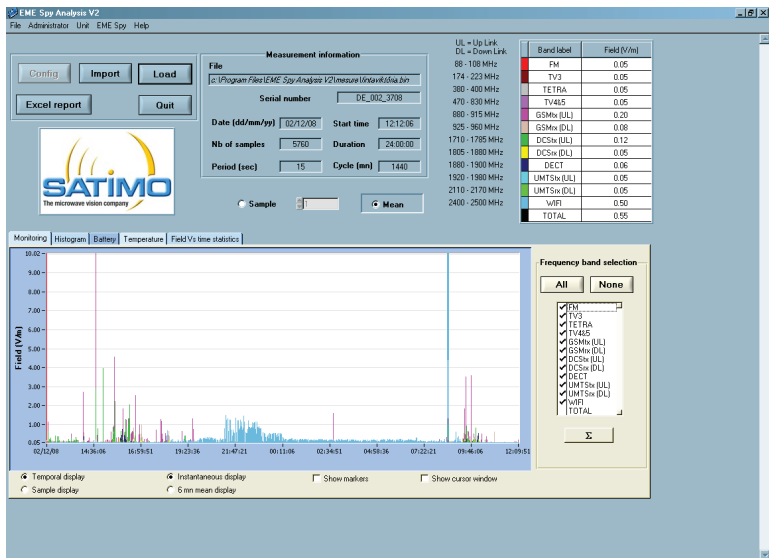
Mindegyiken az idő függvényében a térerősséget látjuk, a PEM által mért frekvenciasávokat különböző színekkel jelölve, ezek viszont ebben a formában kevésbé használhatóak statisztikai célokra. Kezdetben módszertani problémákat okozott az is, hogy milyen protokoll szerint kell kiértékelni az adatokat, mik legyenek a jellemző mennyiségek, és hogyan lehet automatizálni a feldolgozást és a statisztika-készítést. Továbbá az is kérdés volt, hogy milyen tájékoztatást tudunk adni a mérési alanyoknak, hiszen minden esetben minden érték az egészségügyi határ alatt volt, azonban az alanyokat természetesen bővebben is érdekelte volna valami speciálisan rájuk vonatkozó információ. A korai publikációkban nem volt utalás arra nézve sem, hogy az egyes kutatócsoportok milyen módszerrel nyerték ki az összesített statisztikákat a nyers adatokból, így semmilyen egységes protokoll sem alakult ki.



5. ábra: A „nyers” spektrum a DSP-090 esetén



6. ábra: A „nyers” spektrum az ESM-140 esetén



7. ábra: A „nyers” spektrum az EME Spy 121 esetén

Egy azóta készült svájci tanulmányban is csak bizonyos részleteket olvashatunk. Az adatok három részből tevődnek össze: az expoziméter adata, a naplóból származó információ és a GPS adat (ha van). A mérőműszer által készített mérés időbeli felbontása sokkal sűrűbb, mint ahogy az a cselekménynaplóban van jelölve, ezért az adatokat tisztítani kell. Ha eltérést tapasztalunk a cselekménynaplóban írtak és a GPS adatok között, akkor azt meg kell vizsgálni. A GPS által támogatott méréseknél könnyen meghatározható, ha a mérőműszer arrébb kerül, de a mérés során a mérőeszköz mozgatása a frekvenciasávokban is változást idézhet elő pl. kintről bemegyünk. Ezért az adatokat felül kell vizsgálni és a hitelességüket a naplóban le kell ellenőrizni. Az előző tanulmányok alapján a leggyakoribb hiba a cselekménynaplóban való idő-elcsúszás, azaz az illető elfelejtette beírni, vagy nem rögtön írta be az időpontot, hanem később emlékezetből csak hozzávetőlegesen. Ha azonban azt tapasztaljuk, hogy beírt egy helyváltozást az önkéntes, azonban a GPS koordináták ezt nem támasztják alá, akkor egyértelmű, hogy nem vitte magával az expozimétert. Az ilyen méréseket el kell távolítani az adathalmazból, s fel kell jegyezni ezeket a változtatásokat a későbbi elemzésekhez. Általában a konzervatív adattisztítás javasolt, azaz változtatni csak a lehető legkisebb mértékben szabad, habár a korábbi tapasztalatok azt mutatják, hogy ezek a változtatások nincsenek hatással a későbbi összesítő statisztikára. Egy számítógépes eljárás megkönnyíthetné, objektívabbá tehetné ezt a feladatot, és így nem tartalmaznának különböző szisztematikus hibákat az egyes tanulmányok. Ez még nem fejlődött ki, de egy ilyen egységes számítógépes eljárás növelhetné a vizsgálatok reprodukálhatóságát és megbízhatóságát, így a különféle vizsgálatok összehasonlítása is megvalósítható lehetne (Röösli et al. 2010).

Elsőként tehát mindenképpen a mérési naplókat kellett elektronikus formába önteni, és összekapcsolni a mérési adatokkal. Erre a célra először egy olyan program kifejlesztésébe kezdtünk az OSSKI-val közösen, amivel Microsoft Excel® felületen végezhető a feldolgozás, tekintve, hogy ez a program általánosan használt, bárki által könnyen hozzáférhető. Azonban ez a vonal csaknem egy éves munka ellenére végül zsákutcának bizonyult. 2009 őszén az OSSKI egyik munkatársa, Juhász Péter jóvoltából készült el egy jól működő, felhasználóbarát Perl® nyelven íródott programcsomag a feldolgozáshoz és a kiértékeléshez (egyelőre publikálatlan).

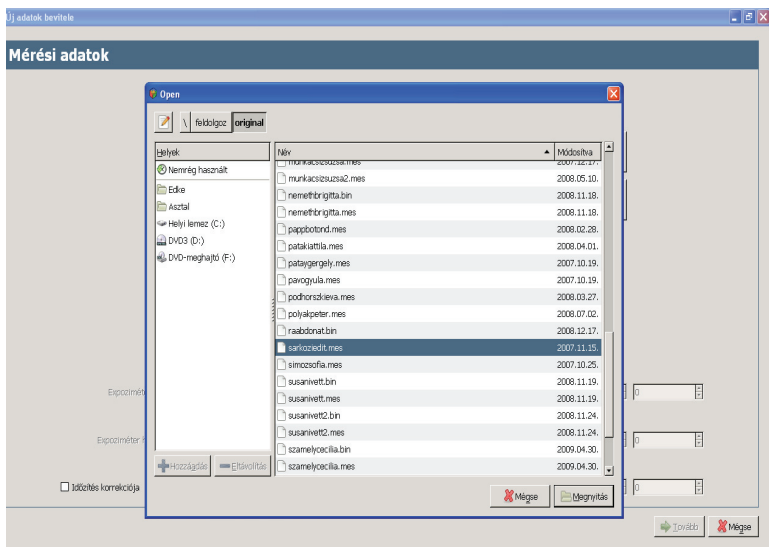
A feldolgozás folyamata innen: a programba bevisszük minden egyes alany adatait és tevékenységi listáját úgy, hogy az alábbi ábrásor szerint a fájl betöltését

követően előbb a kérdőívet, majd a naplóban található adatokat rögzítjük elektronikusan. Ezt követően a program összekapcsolja az így bevitt információkat a mérési adatokkal, és ezután még ellenőrzést lehet végezni a fent említettek alapján. Ha minden rendben van, akkor a szoftver számol, ábrázol és jelentést készít.

A 8.-12. ábrákon szemléltetem a feldolgozóprogram egyes lépéseit.

Feldolgozó program személyi expozimétriás mérésekhez										
DB Ment		Új	Szárazított	Töröl	Nyilvántart	Számol	Megnéz	Jelentés	Segítség	
Azonosító	Név	Műszer	Mérés kezdete	Mérés vége	Foglalkozás	Láthely	Lalcím	Tel. szám	E-mail	
fuloppeter1	Fulop Péter	antennessa	2009/01/21 14:21:11	2009/01/22 14:20:56	diák	Bp.	...			
grabantandrea	Grabant Andrea	antennessa	2008/07/03 18:11:24	2008/07/04 18:11:09	diák	Bp.	...			
hellenbarthanett	Hellenbarth Anett	antennessa	2008/03/20 11:28:37	2008/03/23 11:27:57	diák	Videk	...			
hermanedit	Herman Edit	antennessa	2008/04/03 14:05:12	2008/04/04 14:04:57	diák	Ingázó	...			
ivadiviktor1	Ívány Viktor	antennessa	2008/11/14 12:03:29	2008/11/17 09:39:29	diák	Videk	...			
izsákirudolf	Izsák Rudolf	antennessa	2007/11/23 19:03:53	2007/11/26 19:03:13	diák	Videk	...			
jurecsikalaura	Jurecsika Laura	antennessa	2008/03/17 17:45:07	2008/03/18 17:44:47	diák	Bp.	...			
jurecsikalaura2	Jurecsika Laura	antennessa	2008/05/16 13:32:19	2008/05/19 13:31:39	diák	Videk	...			
kádárjózsef	Kádár József	antennessa	2007/11/07 13:41:20	2007/11/08 13:41:05	diák	Ingázó	...			
kardoslevente1	Kardos Levente	antennessa	2009/05/15 11:19:56	2009/05/18 11:19:16	diák	Videk	...			
kocsiscellia	Kocsis Cecilia	antennessa	2008/02/28 14:02:38	2008/02/29 14:02:23	diák	Bp.	...			
kokoljudit	Kokol Judit	antennessa	2007/09/26 21:55:47	2007/09/27 17:15:37	diák	Bp.	...			
krajczarkrisztian	Krajczár Krisztián	antennessa	2007/10/03 14:00:19	2007/10/04 13:58:49	diák	Ingázó	...			
magyarborbert	Magyar Norbert	antennessa	2007/11/16 11:57:16	2007/11/19 11:56:36	diák	Videk	...			
munkácsizsuzsa	Munkácsi Zsuzsa	antennessa	2007/12/06 12:00:21	2007/12/07 12:00:06	diák	Ingázó	...			
munkácsizsuzsa2	Munkácsi Zsuzsa	antennessa	2008/05/08 13:41:38	2008/05/09 13:41:23	diák	Ingázó	...			
némethbrigitta	Németh Brigitta	antennessa	2008/11/17 10:19:28	2008/11/18 10:19:13	diák	Bp.	...			
pappbotond	Papp Botond	antennessa	2008/02/27 13:01:41	2008/02/28 13:01:26	diák	Bp.	...			
patakiattila	Pataki Attila	antennessa	2008/03/31 12:07:55	2008/04/01 12:07:40	diák	Bp.	...			
pataygergely	Patay Gergely	antennessa	2007/10/18 16:28:21	2007/10/19 15:19:21	diák	Bp.	...			
podhorszkieva	Podhorszki Éva	antennessa	2008/03/26 15:58:03	2008/03/27 15:57:48	diák	Bp.	...			
polyákipeter	Polyák Péter	antennessa	2008/07/01 15:34:23	2008/07/02 15:34:08	diák	Bp.	...			
sárköziedit	Sárközi Edit	antennessa	2007/11/14 12:00:33	2007/11/15 11:56:03	diák	Bp.	...			
simónzsofia	Simó Zsófia	antennessa	2007/10/24 11:52:24	2007/10/25 11:52:09	diák	Bp.	...			
susiánivett	Susián Ivett	antennessa	2008/11/18 11:19:06	2008/11/19 11:18:51	diák	Bp.	...			
susiánivett2	Susián Ivett	antennessa	2008/11/21 10:41:46	2008/11/24 10:41:06	diák	Videk	...			
szánecellia	Száneci Cecilia Nóra	antennessa	2008/04/29 13:52:24	2008/04/30 13:52:09	diák	Bp.	...			

8. ábra: Példa a felhasználói felületre. A személyes adatokat az ábra természetesen nem mutatja.



9. ábra: Fájlok betöltésének lépése

Kérdőív

Ezen a lapon írja be a kérdőív adatait.

Munkahely típusa ☒ tanár ☐ diák

Kerület ☒ Fővárosi ☐ Ingázó ☐ Vidék

Név

Kor

Lélek

Telefonszám

E-mail cím

Használ-e mobiltelefont ☒

Ha igen, akkor kb. hány éve használja ☒ < 3 éve ☐ 3-5 éve ☐ > 6 éve

Milyen típusú készüléket használ

Használ-e mikrochullmú sütem ☒

Ha igen, akkor kb. hány éve használja ☐ < 5 éve ☐ 5-10 éve ☐ > 10 éve

Van-e lakása közelében bárszállomás ☐

Milyen messze

Használ-e vezeték nélküli technológiát ☒

Ha igen, melyet ☒ vezeték nélküli telefon ☐ bluetooth ☐ WIFI ☐ egyéb

Érez fejfájást mobiltelefonálás közben ill. azt követően ☐

Érez fülkörüli melegeadást mobiltelefonálás közben ill. azt követően ☐

Érez fáradtságot, koncentrációsavart mobiltelefonálás közben ill. azt követően ☐

A mérési eredményekről kéré-értesítést ☒

10. ábra: Példa a kérdőív kitöltésére

Napló

Végül ezen a lapon viheti be az időbeosztásról vezetett naplót.

Tevékenyság	Kezdet	Vége	Típusa	Megjegyzés
Gépterem	12:01	12:55	Munka	mobil: 12:11
Mobil	12:11	12:12	Munka	Automatikusan generált bejegyzés
Ruhátár	12:55	15:43	Munka	
Séta villamosig	15:43	15:51	Utazás	
Villamos	15:51	16:05	Utazás	
Séta	16:05	16:13	Utazás	
Szoba	16:13	16:35	Ötthon	
Konyha	16:35	17:00	Ötthon	
Szoba	17:00	22:15	Ötthon	
Fürdőszoba	22:15	22:30	Ötthon	
Alvás	22:30	07:00	Alvás	
Szoba	07:00	07:20	Ötthon	
Séta	07:20	07:30	Utazás	

Új sor

Töröl

Ha a "Vége" oszlopot üresen hagyja, a következő tevékenység kezdete lesz behelyettesítve. kattintson a "Típusa" mezőre a típus megváltoztatásához.

☒ Nyári időszámítás

A mérés kezdete: 2007/11/14 12:00:33

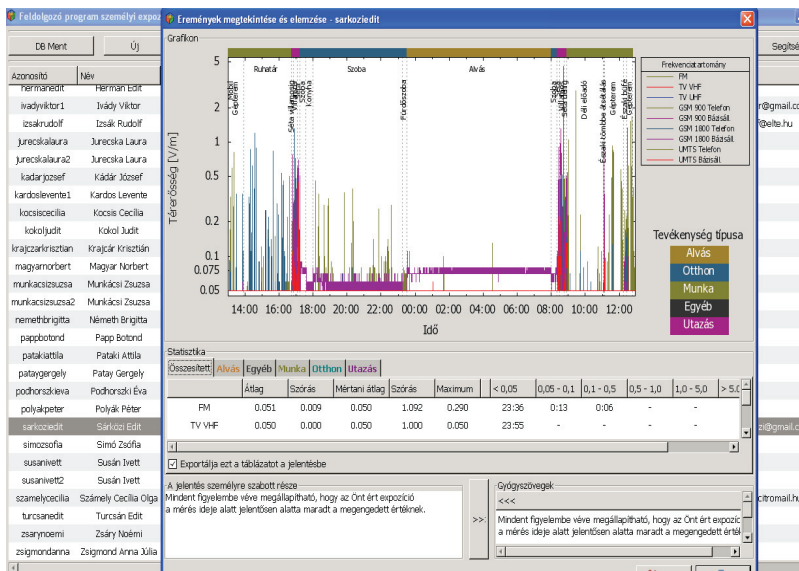
A mérés vége: 2007/11/15 11:56:03

Vissza

Alkalmaz

Mégse

11. ábra: Elektronikus naplófájl létrehozása



12. ábra: Az eredmények megtekintése és elemzése

A program a grafikonon való logaritmikus ábrázolás mellett (pl. 12. ábra) egy összesített, valamint minden tevékenységre külön táblázatot készít. Ebben frekvenciasávonként az adott időre (teljes mérésre, vagy egyes tevékenységek időtartamára) vonatkozó térerősség átlagot/szórást számolja, és meghatározza a térerősség maximumot (ami leggyakrabban a mérőműszer felső méréshatára).

A program mindig teljesítménysűrűséggel dolgozik, ami a mért térerősség adatokból az elektromágneses hullámokra vonatkozó egyenletek alapján az alábbi képlettel számolható:

$$S = \frac{E^2}{377}, \text{ itt a } 377 \, \Omega \text{ a levegő impedanciáját jelenti, egészen pontosan } 120\pi.$$

(Itt E-t V/m-ben adjuk meg és S-et W/m²-ben kapjuk.)

A személyi expoziméter által detektált jelekből a 12 sávon túl, különböző forráscsoportokat is képez a program. Kézi készülékek: GSM tx, DCS tx és UMTS tx; Bázisállomások: GSM rx, DCS rx és UMTS rx; Egyéb források: FM (ESM nem), TV3 (ESM nem), TETRA (ESM és DSP nem), TV4&5 (ESM nem), DECT (DSP nem), WLAN (DSP nem); Összes forrás: mind a 12/9/8 sáv. Az összegzést az alábbi képlet alapján végzi:

$$E = \sqrt{\sum_i E_i^2}, \text{ ahol } i \text{ felveheti a 2, 3 és 6 értékeket attól függően, hogy melyik}$$

forrástípusról és mérőeszközzről van szó.

A négyzetes összegzés tehát azért szükséges, mert fizikai értelme csak a teljesítménysűrűség összegzésének van, ami pedig négyzetesen arányos a térerősséggel. Ennek megfelelően a későbbiekben teljesítménysűrűséggel dolgoztam, tekintve, hogy az egészségügyi határértékek és egyéb szakirodalmi adatok is így vannak megadva. Ebben a kérdésben szintén nincs általános egyetértés. A tanulmányok egy részében elektromos térerősséget ábrázolnak, mivel a műszer közvetlenül azt méri, a kutatók másik csoportja pedig a teljesítménysűrűséget mutatja be. Korábbi vizsgálatok alkalmával mások is az expozíciót analizálták frekvenciasávok, az idő, valamint tevékenységi körök szerint. Az analízishez a teljes expozíciós időt, vagy azon időszakokat használták, amikor a 0,05 V/m-es értéket túllépték (ESM esetén 0,01 V/m). Ezen belül olyan időszakokat, melyek különböző térerősség tartományba estek (alacsony: 0,05/0,01-0,1 V/m; közepes: 0,1-1,0 V/m; magas: 1,0-5,0/10,0/70,0 V/m).

Emiatt hasznosnak találtuk, hogy a program az idő-eloszlásra vonatkozó adatokat is megadja, azaz a bizonyos térerősség-tartományokban eltöltött időt. Ez utóbbi többek

között azért is lényeges, mert megadja a „bizonyítottan besugározva” töltött időt. Hiszen a műszer alsó méréshatára 0,05/0,01 V/m, azonban amikor ezt az adatot látjuk, nem tudhatjuk, hogy ez ténylegesen annyit jelent-e, esetleg 0 és e közötti értéket, vagy nem is volt sugárzás, azaz 0 V/m a valódi érték. Ez az effektus azért is problematikus, mert statisztikai szempontból rendkívül torzíthatja az adatok eloszlását. Erre vonatkozóan már létrehoztak különböző modelleket, de egységes protokoll még nem alakult ki arra nézve, hogy hogyan szimuláljuk az alsó méréshatár alatti adatokat. Az általam használt feldolgozóprogram a ROS Robust-módszert alkalmazza, melynek során log-normális eloszlással helyettesítjük a detektálási határ alatti adatokat (Röösli et al, 2009).

Az utolsó lépés az, hogy egy jelentést küldünk az alanyoknak a kiértékelte méréséről. A jelentésben megköszönjük a segítségét, hogy részt vett a mérési kampányban, illetve olvashatók a rendeletben meghatározott határértékek, és egy rövid leírás a kiértékelés menetéről. Fontos megjegyezni, hogy minden jelentésben olvasható a következő mondat: „Mindent figyelembe véve megállapítható, hogy az Önt ért expozíció a mérés ideje alatt jelentősen alatta maradt a megengedett értéknek”.

4.4. Kiértékelés

A svájci módszertani tanulmány szerint a fő kihívás az adatelemzésnél a –fentebb is említett– detektálási határ (DL*: Detection Limit) alatt lévő mérések kezelése. Bár a jövőben ez a határ biztosan csökkenni fog, de addig is megfelelő statisztikai módszereket kell alkalmaznunk, hogy ezeket a méréseket figyelembe tudjuk venni (Röösli et al. 2009).

Mivel az expoziméter lefelé csak 0,05 V/m-ig mér, azaz az ez alatti értékeket nem tudja detektálni, szükséges egy olyan algoritmus, amely megbecsüli az ennél alacsonyabb mérési eredményeket. E nélkül az adataink nem lennének reprezentatívak, és igen jelentős hibával tudnánk csak dolgozni. Az adatok analíziséhez a ROS módszert használhatjuk, mely egy log-normális eloszlást feltételez, ennek segítségével becsülhetjük a nem-detektált adatok arányát. Ez egy olyan módszer, mely normál eloszlással (vagy log-normálissal, ha használtunk logaritmust) közelíti a megfigyelt adatsort. A megfigyelt adatokat és a modellezett rejtett adatokat –melyek a készülék érzékelési határa alá esnek– aztán kombinálja, amivel jó közelítéssel megkapjuk az összegzett statisztikát. Azok az értékek, amelyek az adatsorunkban a készülék érzékelési tartománya alá esnek, ezzel a módszerrel közelíthetők oly módon, hogy az adatsorunkra

illesztett egyenes megbecsüli az érzékelési tartomány alatti értékeket is. Összehasonlítva az egyszerű közelítéssel, vagyis ahol az érzékelési tartomány alatti értékek a határon levő értékekkel voltak helyettesítve, ott az eredmények meglehetősen túlbecsültek voltak. Ezért a végső következtetés szerint, ha az expoziméter összefoglaló statisztikáját a ROS módszerrel számítjuk, akkor az sokkal megbízhatóbb és informatívabb, mint hogyha egyszerű közelítésen alapulna (Röösli et al. 2009).

Mindazonáltal némi óvatosság szükséges abban az esetben, hogyha csak néhány, egymáshoz hasonló értékű mért adat áll a rendelkezésünkre a detektálási határ felett, mert ebben az esetben a ROS statisztikai módszer nem használható. Más tanulmányok szerint ajánlatos az adatok legalább 20%-ának a DL felett lennie, hogy megfelelő eredményeket kaphassunk. Továbbá ez az algoritmus csak akkor használható, hogyha a DL tényező minden mérésben ugyanakkora. Ez például más mérőeszközöknél más lehet, ezért csak egyféle típusú készülékkel lehet a teljes felmérést elvégezni (Juhász et al. 2011).

A ROS módszeren kívül számos más statisztikai módszer használható a kiértékelésre, ezeket megtaláljuk a NADA* csomagban az R[®] statisztikai szoftvernél. Mindenesetre olyan regressziós statisztikai módszereket javasolnak használatra, amelyek képesek a nem-detektált adatok feldolgozására (Röösli et al. 2010). Ahogy már írtam, az OSSKI-ban kifejlesztett általam használt feldolgozó program a detektálási határ alatti értékekre vonatkozóan a ROS módszert alkalmazza.

Az eredmények bemutatásának módja a kutatás céljától függ. A lakossági felméréseknél a fókuszban az egyént ért expozíció mértéke áll. Ilyen következtetést a mikrokörnyezetes vizsgálatoknál is meg lehet adni, de az adatok értékelésénél figyelembe kell venni, hogy itt a reprezentatív mintanagyság hiányzik. Az adatokból következtethetünk az átlagos expozíciós szintre, arra, hogy a kísérleti személy mennyi időt töltött átlag feletti expozícióban, a változás mértékére, vagy az expozíció összetételére. Vannak olyan vizsgálatok, ahol nem szükséges a különböző időszakok megkülönböztetése, így ilyenkor nem fontos a cselekménynapló használata. Azonban a lakossági vizsgálatoknál az egyéni tényezők (pl. nem, kor, eszközök) felvétele fontos a későbbi analízishez. Általában a mikrokörnyezetes kutatásokat nem lehet összehasonlítani a lakossággal, mivel az utóbbiban a cselekménynapló sokkal kevesebb információt tartalmaz (Röösli et al. 2010).

A mikrokörnyezetes tanulmányoknál a fő cél az egyes mikrokörnyezetek expozíciós sajátosságait megismerni. Így a vizsgálatban valamennyi résztvevő adatait egyesíteni lehet, és összegző statisztikát lehet készíteni ROS módszerrel. Az expozíció átlagértéke lehetőséget ad az egyes mikrokörnyezetek összehasonlítására. Ezeknél a tanulmányoknál nehezebb megbecsülni az egyéni expozíció nagyságát a mintában, mivel egy-egy résztvevő több mikrokörnyezetbe (alcsoportha) is tartozhat. Az adatok átlagolása egy kis mintánál bizonytalan, és nem megbízható eredményre vezethet. Ebben az esetben egy regressziós modell segítségével megbecsülhetjük az expozíciót a lakosság különböző rétegeire. Természetesen minden egyes rétegre nem lehetséges elkészíteni ezt a becslést, mert ahhoz túl sok réteg van. (Réteg alatt az iskolába járókat, WiFi-t használókat, férfiakat, nyugdíjasokat, stb. –tehát a különböző célcsoportokat értjük.) (Röösli et al. 2010).

A szezonális és a hét napja is befolyásoló tényező lehet, de erre nincsen még konkrét bizonyíték. Viszont ha így van, akkor ezeket is fel kell a faktorok közé venni és beépíteni a regressziós modellekbe. Ha összegyűjtöttük az „expozíciós viselkedéssel” kapcsolatos adatokat, akkor célszerű ezeket az eredményekben is feltüntetni. Ezek az adatok hasznosak lehetnek, hogy megmagyarázzák az egyes tanulmányok közötti különbségeket, vagy értelmezzék az egyes csoportok közötti különbségeket. Emellett ezek az adatok további tanulmányokhoz is felhasználhatóak, mint például a lakosság mobiltelefon használatának mértéke, vagy a tömegközlekedésen eltöltött átlagos időtartam, stb. (Röösli et al. 2010).

Az én felméréseimben használt protokoll szerint a korábban említett programcsomag egyik eleme elvégezte az egyes személyek összes frekvenciasávról és tevékenységre vonatkozó adatainak Excel®-táblázatba exportálását. Ezután különböző szempontok szerint (tevékenység, frekvenciasáv, kategória) összehasonlításokat végeztem az egyes csoportok, illetve személyek körében, és ezekből próbáltam következtetéseket levonni.

Ennek módszere szintén nem egységes, és a kezdetben alkalmazott egyszerű átlagok és szórások nem bizonyultak megfelelőnek. Mélyebben megvizsgálva az adatsorokat kiderült, hogy az adatok nem tekinthetők normális eloszlásúnak, ami jelentősen megnehezíti az elemzést. A biostatisztika módszereinek tanulmányozása után a szignifikancia-vizsgálatokat és korreláció-analíziseket nem-paraméteres próbák alkalmazásával végeztem el (Reiczigel et al. 2007). A statisztikai elemzést Office Excel

2007 (Microsoft, USA), illetve Statistica 7.0 (StatSoft, Tulsa, OK, USA) programokkal végeztem.

Többféle nem-paraméteres próba létezik, melyek közül a megfelelőt a feldolgozandó adatok tulajdonságai határozzák meg. Ezek alapján a teljesítménysűrűség adatokat több-szempontú variancia-analízisnek vettem alá.

A részletes feldolgozás során a függő változók esetén Friedman-próbát és annak post hoc tesztjét, a Fisher LSD* tesztet végeztem el. A Friedman-próba alkalmazásakor több összetartozó mintát vizsgálunk (Friedman 1937), a próba megmutatja, hogy a vizsgált alanyok adataiból képzett kategóriák (konkrétan frekvenciák vagy tevékenységek) között szignifikáns különbség áll-e fenn. Pozitív eredmény után az LSD teszt adja meg, hogy pontosan melyek között van a különbség.

A független változók vizsgálatához Kruskal-Wallis ANOVA* próbákat használtam. A Kruskal-Wallis próba több csoportot hasonlít össze három vagy több független minta alapján (Reiczigel et al. 2007). Adott kategórián belül csoportot képez az odasorolt alanyok adataiból (pl. lakóhely szerint), és megmutatja, hogy mely csoportok között áll fenn szignifikáns különbség.

A szignifikancia-szint mindig $p = 0,05$ volt, a korreláció-analízist pedig minden esetben a Spearman-féle rangkorrelációs módszerrel végeztem.

Nagy méretű adathalmazok esetén az adatokból számolt statisztikák grafikus ábrázolására a legnépszerűbb a Box&Whiskers plot vagy más néven boxplot, amely a leíró statisztika legfontosabb öt értékén alapuló ábra. Ezek az értékek a minimum, a maximum, a felső kvartilis, az alsó kvartilis és a medián számításából adódnak. Maga a box egy számegyenes mentén megjelenő, két negyedérték, azaz a kvartilisok által határolt doboz, melyben egy négyzet jelöli a mediánt, azaz a középértéket. A nem kiugró értékek tartományát a doboz alsó és felső részéből kinyúló vonal, az úgynevezett „bajusz” mutatja. A kiugró adatokat kétféleképpen jelöli az ábra: a kissé kiugró értékeket kör szimbólummal, az extrém kiugró értékeket pedig csillag szimbólummal. Az én vizsgálataimban konkrétan az ehhez tartozó koefficiens 1,5 volt. Ez azt jelenti, hogy az ún. outliers (kissé kiugró) értékek határa az alsó- és felső kvartilis közötti, ún. interkvartilis tartomány másfélszerese a mediántól mérve, az ún. extremes (extrém kiugró) pedig a háromszorosa. Ez az ábrázolás az adatok középértéke és szórása mellett jól mutatja az eloszlás szimmetrikus voltát vagy ferdeségét. Kiválóan alkalmas több csoport összehasonlítására is (Reiczigel et al. 2007).

III. RÉSZ: Az önálló kutatómunka során végzett saját felmérések

A kutatómunkám fő vonala egyetemi hallgatók expozíciójának meghatározása és ehhez kapcsolódóan a módszertan kidolgozása volt. Ugyanakkor ezzel kapcsolatosan és ezen túlmenően több felmérés is készült.

A diákok adatai bekerültek egy nemzetközi összehasonlításba, mely öt európai országban mért expozíciókat hasonlított össze. Az egyetemi hallgatók mellett a fiatalabb korosztály is a látókörmbe került, az OSSKI kutatócsoportjával közösen óvodákban és iskolákban is végeztünk felmérést. Ezen kívül pedig, szintén közös projektben bázisállomások közelében élőket érő sugárzás meghatározásával is foglalkoztunk.

5. Egyetemisták expozíciója

5.1. Bevezetés

A rádiófrekvenciás személyi expozimetria fiatal kutatási területnek számít, különösen így volt ez 2007 őszén, amikor előzetes szakirodalmi böngészés után belekezdtem a témába. Habár az RF expozíció meghatározása a WHO kiemelt témái között szerepel, gyakorlatilag néhány ország kivételével nem voltak ilyen jellegű felmérések. Azonban az OSSKI révén hazánk kezdettől fogva bekapcsolódott a munkába és élen is járt ennek a területnek a kutatásában. Éppen ez az úttörő-jelleg adja a téma nehézségét is, hiszen tapasztalatok hiányában még nem alakult ki egységes protokoll sem a mérésre, sem a kiértékelésre.

A vizsgálat elvégzéséhez az Eötvös Loránd Tudományegyetem hallgatói köréből jelentkeztek önkéntesek, és a méréseket az erre kifejlesztett mérőeszközök segítségével végezték. A kutatómunka meglehetősen összetett, és a megismerési folyamat a munka során folyamatosan zajlott, beleértve a mérőeszközzel kapcsolatos módszertant, a mérések szervezését és intézését, az adatok feldolgozását, valamint a kiértékelést.

A kutatás célkitűzése tehát kettős volt, a személyi expozimetria módszertani fejlesztése, valamint egyetemisták RF expozíciójának meghatározása.

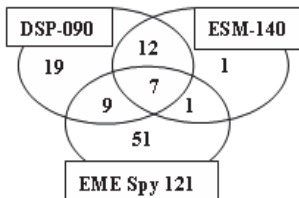
A felsőoktatásban tanuló korosztály kiemelten érdekes lehet abból a szempontból is, hogy legtöbbjük serdülőkorra óta használ mobiltelefont, és még sokáig használhat, ráadásul rendkívül nyitottak az új technológiákra. Értelemszerűen az egyetemi

környezet azonosan jelenik meg mindegyikük életében, azonban mások az utazási szokásaik, a szabadidős tevékenységük, illetve a lakókörnyezetük.

A kiértékelés során arra helyeztem a hangsúlyt, hogy megtudjam, melyik az a lakókörnyezet, frekvenciasáv és tevékenységtípus, amely az elektromágneses sugárzás szempontjából a legjelentősebb.

5.2. *Anyag és Módszer*

A mérőeszköz megismerése és kipróbálása után 2007. szeptember és 2010. június között 90 hallgatóval végeztem, összesen 100 mérést, amiből 136 mérési fájl keletkezett. Ezeket a számokat az magyarázza, hogy volt olyan hallgató, aki többször is vállalt mérést, illetve több műszerrel mért egyszerre. A felmérés során ugyanis háromféle személyi expozimétert használtam: DSP-090 (Antennessa, Franciaország), ESM-140 (Maschek, Németország) és EME Spy 121 (Satimo, Franciaország), a mérések megoszlását a 13. ábra mutatja.



13. ábra: A mérések megoszlása a műszerek között

A PEM elindítása előtt mindenki kapott egy általános leírást a mérés menetéről, a kutatásról, valamint a kitűzött célról. A mérőműszer mellé járult még egy napló és egy kérdőív is. A tájékoztatót, a kérdőívet és a naplót a 2. számú melléklet tartalmazza. A naplóban minden tevékenységet fel kellett jegyezniük, azok kezdetét és végét, valamint típusát is. A leírásban olvashatták, hogy ha mobiltelefont, egyéb vezeték nélküli eszközt vagy mikrohullámú sütőt használnak, azt külön fel kell írniuk a naplóba. A kérdőívben általános kérdések mellett olyanok is szerepeltek, mint például mióta és milyen mobiltelefont, mikrohullámú sütőt használ, van-e a lakóhelye közelében valamilyen adótorony, illetve érez-e bármilyen hatást mobiltelefonálás közben, esetleg utána.

A diákok élethelyzete bizonyos szempontból azonos, más szempontból viszont igen eltérő. Hiszen egyrészt mindannyian ugyanazon oktatási intézmény tanulói, így a munkanapok egy részét egyazon helyszínen töltik, ugyanakkor ide más-más

környezetből (és időbeosztás szerint) érkeznek. Ezért alapvetően a lakóhelyük szerint három csoportra osztottam a kísérleti alanyokat: fővárosi, ingázó és vidéki. Tehát vannak a fővárosban élő diákok, akik számára a napi rutin része a fővároson belüli utazás. Vannak az ingázók, akik Budapest környékén az agglomeráció lakói, és naponta vonattal, helyközi buszjáratral vagy autóval kell elérniük a fővárost, majd azon belül még közlekedniük az egyetemre, akárcsak az első csoportnak. Ezzel a két csoporttal 24 órás méréseket végeztem. A vidéki hallgatók azonban hétköznapiakon nem különböznek a fővárosiaktól, ezért őket arra kértem, hogy lehetőség szerint válasszanak ki egy olyan hétvégét, amikor hazautaznak, és úgy mérjenek 72 órán keresztül, hogy magába foglalja a pénteki egyetemi-, majd kollégiumi (vagy albérleti) tartózkodást, a hazautazást, a vidéki otthonukban eltöltött időt, a visszatat, és ismét a fővárosi helyszíneket.

A vizsgálatok egyik nehézsége logisztikai természetű volt: az önkéntes mérési alanyok toborzása és a mérések folytonosságának megszervezése, azaz, hogy amikor az egyik kísérleti személy visszahozta a műszert, akkor az adatok letöltése után legyen egy következő személy, aki elviszi, és így tovább. Általában hétfőtől csütörtökig 24 órás budapesti vagy környéki méréseket végeztem, csütörtökön akkumulátor-töltés történt, majd péntektől hétfőig egy hazautazó kollégista 72 órás mérést végzett. A mintavételi időt a műszer memóriája korlátozta be, a DSP-090 esetén 15, ill. 40 s-os, az ESM-140 esetén mindig 1 s-os, az EME Spy 121 esetén pedig 7, ill. 21 s-os mintavételi idővel dolgoztam.

5 fő tevékenység-típust különböztettem meg: Otthon (ez a vidékieknél kétféle jelent), ezen belül az Alvás, Munkahely (esetünkben alapértelmezétként az egyetem, bár előfordul, hogy a tanulás mellett munkát vállalnak a diákok, ezt az egyébhez kellett írniuk), Utazás (ebbe a megállóság tartó séta is beleszámít) és Egyéb tevékenység (sport, szórakozás, bevásárlás, vagy a diákmunka, stb.).

Az adatfeldolgozás szintén nagy kihívás volt, ugyanis erre sem volt protokoll, de a más kutatócsoportok által elvégzett felmérések alapján készült publikációkban sem esett szó erről a kérdésről. Így sorozatos egyeztetések és konzultációk után a módszertannál bemutatott, OSSKI-s fejlesztésű programmal dolgoztam. Ennek első lépése az adatok letisztázása volt, vagyis a napló és a mérési spektrum egyeztetése. Sajnos több mérés használhatatlan volt, főleg az első időszakból, a rekonstruálhatatlanul hiányos napló, a műszer vagy a beállítás hibája miatt. A használható 122 adatsor lakóhely szerinti eloszlása: 73 fővárosi, 21 ingázó és 28 vidéki.

A személyi expozimetriás mérések kiértékelési módszerének szintén alig van szakirodalma, ezért a biostatisztika területén kerestem megoldást. A módszertani fejezetben leírtaknak megfelelően előbb az adatok egyszerű számtani átlagát és a szórását ábrázoltam Excel® diagramon, ezután a mélyebb analízist öt pontos statisztikai megjelenítéssel (Box&Whiskers plot) és nem-paraméteres próbákkal végeztem a Statistica® szoftvercsomag segítségével.

Az adatsorokat több szempontos variancia-analízissel értékeltem (Friedman-ANOVA), post hoc módszerként a Fisher LSD-tesztet alkalmaztam. Ez azt jelenti, hogy amely csoportokra a Friedman-próba szignifikáns eltéréseket mutatott, arra érdemes LSD-tesztet csinálni, hogy megtudhassuk, pontosan melyek között van különbség. Azaz a post hoc analízis jelzi, hogy mely mintapárok átlagai közötti eltérés szignifikáns.

Elsőként tehát a Friedman-próbát alkalmaztam, ezzel volt érdemes elvégezni a frekvenciasávok, és a tevékenységek közötti összehasonlításokat is. A diákok három csoportja, az ingázók, fővárosiak és vidékiek közötti különbségek kimutatására a Kruskal-Wallis tesztet alkalmaztam. Utolsó lépésként összefüggéseket vizsgáltam, azaz megnéztem, hogy egyes tevékenységek, lakóhelyek vagy frekvenciák expozíciós értékei között van-e valamilyen korreláció. Az összefüggések elemzéséhez a Spearman-féle rangkorrelációs együtthatókat használtam.

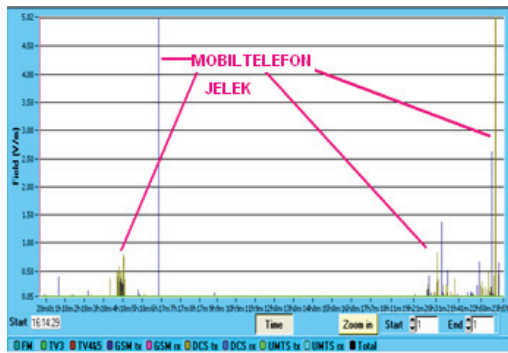
5.3. Eredmények

Az eredmények közé sorolhatóak –tágabb értelemben véve– a módszertan terén szerzett tapasztalatok, azaz a mérési eljárás, szervezés és kivitelezés, valamint a feldolgozás és kiértékelés kidolgozása.

Azonban nyilvánvalóan a mérési adatok elemzése a fő cél, és ezen belül is természetesen az elsődleges kérdés, hogy a mért értékek, hogyan viszonyulnak az egészségügyi határértékekhez. Bár összefoglalva a válasz az, hogy a tényleges expozíciós értékek mindig jóval az ajánlott egészségügyi határérték alatt vannak, mégis az egyes kategóriák elemzése komoly információkkal szolgál.

5.3.1. A diákok expozíciójának jellemzése

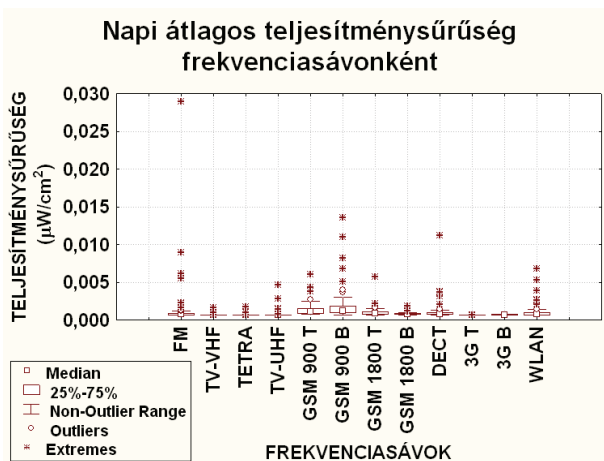
Elsőként egy olyan ábrát mutatok be (14. ábra), amelyen egy oktató spektruma látható, aki saját maga nem rendelkezik mobiltelefonnal.



14. ábra: Mobiltelefonnal nem rendelkező személy spektruma

A 14. ábrán ennek ellenére számos mobiltelefonról származó jel látható, ami kimeríti (a passzív dohányzás mintájára) a „passzív mobilozás” jelenségét. A mérőeszközök ugyanis nem kizárólag a saját mobiltelefonunk sugárzását mérik, hanem az összes környezetünkben lévőét is, megkülönböztetés nélkül. Figyelemre méltó, hogy ez az effektus utazás alatt a legjelentősebb. A továbbiakban egy részletesebb elemzést mutatok be, a fentebb vázolt statisztikai protokoll alapján.

A diákok közül annak a 68-nak a statisztikai elemzését mutatom be, akik az újabb mérőegységgel, az EME Spy 121-gyel végezték a méréseket. Az ő napi expozíciójuknak frekvenciasávonkénti statisztikáját a 15. ábra mutatja.



15. ábra: Diákok napi expozíciója frekvenciasávonként

A 15. ábrán látható, hogy a TV-VHF, a TETRA és a 3G telefonok frekvenciáin az intenzitás elenyésző, míg a 900 MHz-es sávban mind a telefonok, mind pedig bázisállomásaik jelentősnek tűnnek. Az összes, kísérletben résztvevő diák napi kitettségének átlagát frekvenciánként csoportosítva a Friedman-próba szignifikanciát mutatott, így Fisher LSD post hoc tesztet végeztem. Ez azt az eredményt hozta, hogy a GSM 900-as bázisállomások, valamint telefonok, és az FM sáv teljesítménysűrűség-értékei kilógnak a többi frekvenciatartomány közül. Ebből arra következtettem, hogy a további vizsgálódások szempontjából főképpen ezek a sávok érdekesek, tehát érdemes velük behatóbban foglalkozni. A Fisher LSD-teszt táblázata az M1. ábrán látható, melyen pirossal jelölve a szignifikáns értékek találhatók. (Az M jelzésű demonstráló ábrák a dolgozat mellékletében találhatók. A táblázatok fejlécében megtalálható az adott próba neve és a p értéke, az oszlopok és sorok fejléce mutatja, hogy mely csoportok között történt összehasonlítás. Minden esetben a piros színnel kiemelt értékek fontosak, azonban kevésbé a számértékek, mint inkább, hogy melyik kategóriák összehasonlítására vonatkoznak.)

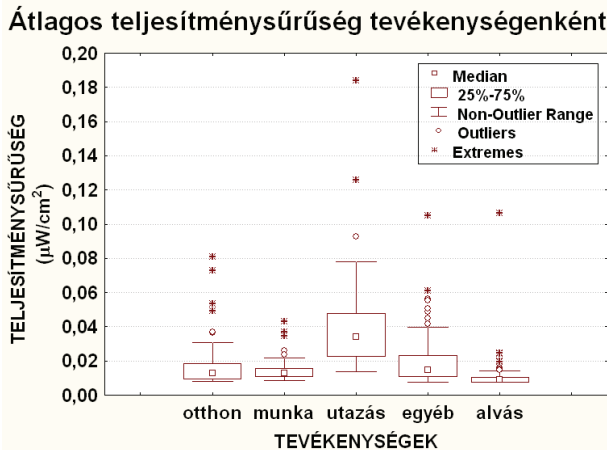
A következő lépésben ezért a GSM 900-as mobiltelefonok és bázisállomások, valamint az FM sávok tevékenység szerinti vizsgálatát végeztem (M3. ábra). Friedman-próbát alkalmazva mindegyik szignifikanciát jelzett, így a Fisher LSD teszt következett.

Az FM-re szinte nincs is jelentős érték, de érdekes módon még az alvás alatti expozíció a legjelentősebb, bár ezt valószínűleg az a 15. ábrán is látható néhány extrém érték okozza (M2. és M3. ábra). A GSM 900-as telefonok esetében csak az utazás közbeni sugárzás-intenzitásra kapunk szignifikanciát, a GSM 900-as bázisoknál pedig az utazás és egyéb tevékenységekre jelentkezik minden más tevékenységtől eltérő intenzitás.

Tevékenységek szerinti csoportosításban az összes forrást, azaz a teljes expozíciót vizsgálva (Fisher LSD) szintén szembetűnő az utazás közbeni nagyobb expozíció (M4. ábra).

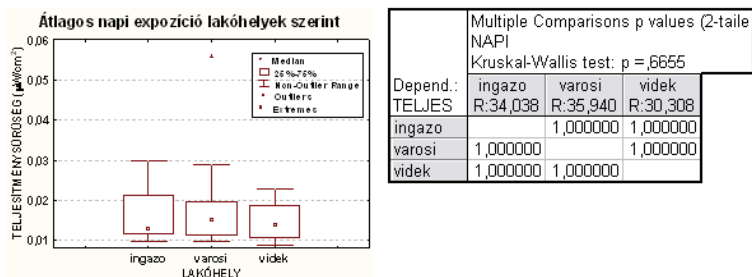
Ami még érdekes, hogy az egyéb tevékenységek és az alvás közbeni besugárzottság szintén több tevékenységtől szignifikánsan eltér. Viszont itt megjegyzendő, hogy a szignifikáns eltérés lehet felfelé és lefelé is. Általában az ábrákból és a kategóriák fejlécében található számokból lehet arra következtetni, hogy melyik eltérés milyen előjelű.

A 16. ábra az összes forrásból származó expozíció átlagait mutatja tevékenységenként. Itt is látszik, hogy az utazás közbeni átlagok jócskán kilógnak a többi tevékenység közbeni átlagokból, az alváshoz tartozó adat pedig meglehetősen alacsony.



16. ábra: Diákok összes forrásból származó átlaga tevékenységenként

A frekvenciasávok és tevékenységek közötti összehasonlítás mellett a harmadik szempont a lakóhely. A diákok három csoportja, az ingázók, fővárosiak és vidékiek közötti különbségek kimutatására a Kruskal-Wallis tesztet alkalmaztam (17. ábra).



17. ábra: A teljes napi expozíció lakóhelyek szerint

Ez a napi teljes expozícióra negatív lett ($p=0,6655$ és nincs piros érték), azaz nincs különbség a lakókörnyezet szerint a diákok között. Azonban frekvenciasávonként vizsgálva a 3G bázisállomások értékeiben a vidékiek és ingázók között szignifikáns eltérés van, méghozzá az ingázóknál látszik nagyobb értékűnek (M5. ábra).

Nem várt eredményt kaptam viszont a tevékenységek szerinti részletes vizsgálatkor. Szignifikáns különbség adódott a 3G bázisállomások esetében otthon is, azonban a vidékiek javára az ingázókkal szemben. Itt tovább kutatva találtam még érdekességeket, ugyanis ugyanez igaz a GSM 900-as, valamint 1800-as sávokra, azaz hogy a vidékieket valamiért szignifikánsan nagyobb expozíció éri ezektől az ingázókkal szemben otthon (M6. ábra). Az FM sáv adott még pozitív eredményt, ez viszont a fővárosiaknak jelent nagyobb expozíciót otthon, de főként a néhány extrém érték miatt (M6.-M7. ábra).

Ugyanezt a tesztet alkalmazva láthatóvá vált, hogy a munkát, azaz az egyetemi tartózkodást tekintve nincs szignifikáns különbség lakóhelyek között a frekvenciák szerint.

Utazásnál szignifikáns különbséget a GSM 900-as és 1800-as bázisok, valamint a DECT ad a vidékiek és városiak között (M8. és M9. ábra).

Sokakat foglalkoztat, hogy alvás közben mennyi elektromágneses sugárzás éri őket. Az egyetlen, és ezáltal legfeltűnőbb az FM sáv, mely minden másik frekvenciasávtól erős eltérést mutat az összes diákot és összes frekvenciát vizsgálva (M10. ábra).

Említésre méltó azonban, hogy a Kruskal-Wallis teszt szerint, ahogyan otthon, úgy alvás alatt is magasabb a vidékiek GSM 900-as és 1800-as bázisállomásoktól származó expozíciója az ingázókénál (M11.-M12. ábra).

Az tevékenységekre csoportosítunk (Fisher LSD teszt), akkor szembeötlő, hogy munka közben, vagyis az egyetemen a GSM 900-as bázisok, a GSM 900-as telefonok és az FM majdnem minden más sávtól szignifikánsan nagyobb expozícióval rendelkeznek (M13. ábra). Ugyanakkor az otthon vizsgálva már egyáltalán nem mondható el a bázisállomások és telefonok ilyen szintű eltérése a többitől. Az FM itt is szignifikáns, viszont megjelenik a DECT is (M13.-M14. ábra).

Az utazást tekintve a GSM 900-as bázisok és mobilok ugyancsak kiemelkedőek, viszont a GSM 1800-as telefonok is szignifikánsak majdnem minden másiktól, valamint megjelenik a WLAN is, mint kiemelkedő érték (M13.-M14. ábra). Az egyéb tevékenységeknél szintén a GSM 900-as bázisok és telefonok, valamint még a GSM 1800-as telefonok sávja mutat eltérést a többitől.

A különbségek után természetesen az összefüggések vizsgálata következett. Tevékenységeket tekintve az otthoni értékek összefüggnek az alvással és egyéb

tevékenységekkel, és megfigyelhető még korreláció az utazás és egyéb tevékenységek között is. A napi expozíció pedig a legerősebben az otthonival, leggyengébben a munkával korrelál (M15. ábra).

Frekvenciákat tekintve erős korreláció van az FM és a TV-UHF sávok között, de a TV-VHF, TV-UHF és TETRA által kibocsátott expozíciós értékek is összefüggnek (M16. ábra). Valamivel gyengébb, de nem elhanyagolható a TETRA és WLAN összefüggése. Nagyon komoly korreláció figyelhető meg a GSM 900-as és 1800-as telefonok, valamint ugyanezen bázisállomások sávjai között. Ezen kívül megemlítendő még a GSM bázisállomások és a 3G bázisállomások expozíciójának egyértelmű összefüggése. A teljes expozíció legerősebben a vezeték nélküli telefonokéval korrelál, de hasonlóan erős még az összefüggés a GSM telefonok és bázisállomások expozíciójával, legkevésbé pedig a televízióadók alakítják a teljes expozíciót (M16. ábra).

Az otthon töltött időre nézve a frekvenciasávok közötti korrelációk nagyban egyeznek a napi értékeknél eredményül kapott korrelációkkal (M17. ábra). Utazás közben a fentiekben felül a TETRA sávja igen sok másik sávval mutat elég erős összefüggést: az összes mobiltelefonos bázis és készülék expozíciós értékein túl jelentősen korrelál még a DECT-tel is (M17. ábra). A bázisállomások összefüggésben vannak egymással, valamint a TV-UHF-fel és az FM-mel. Az utazás alatti teljes expozíció több sávtól is jelentősen függ, gyakorlatilag az FM, TV-VHF, 3G-s telefonok és WLAN kivételével mindegyiknél 0,5 körüli a korreláció. A munka –azaz esetünkben az egyetemi tartózkodás– közbeni behatásokat vizsgálva szembetűnő ismét, hogy az FM és a TV-UHF egymással és emellett igen sok sávval korrelál, a bázisállomások közül mindahánnyal, valamint a GSM telefonokkal és DECT-tel is. Itt még megemlítendő, hogy a TETRA korrelációt mutat a 3G technológiával is (M17. ábra). Az egyetemi expozíció összességében legerősebben a DECT-től függ, de erőteljes még az összefüggés a TV-VHF, TETRA, 3G-s telefonok és WLAN kivételével minden másval is. Mivel az alvás korrelál az otthon töltött idővel, az egyéb tevékenységek pedig ezen felül még az utazással is, így ezeket külön nem vizsgáltam meg.

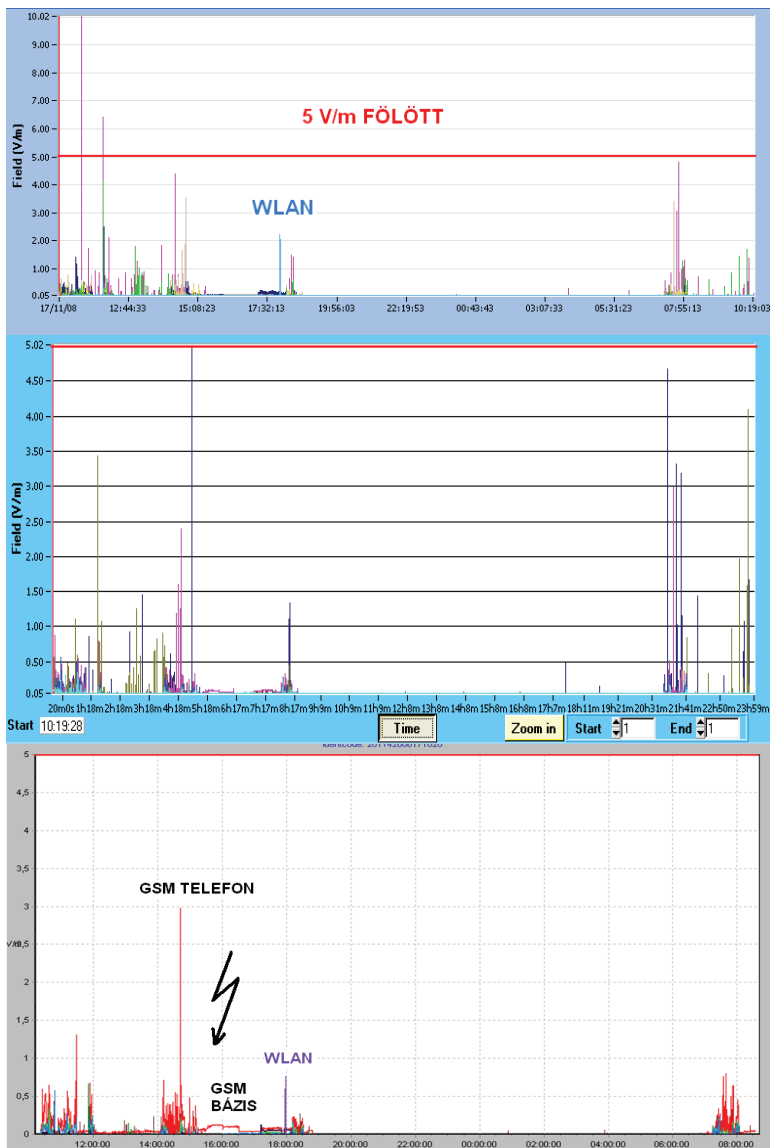
Tekintve, hogy az FM, a GSM 900-as bázisállomások és telefonok, valamint a 3G bázisállomások elég erősen képviseltetik magukat a többi frekvenciasávhoz képest az eredményekben, így megvizsgáltam őket összefüggéseik terén tevékenységek szempontjából (M18. ábra). Az FM esetén a legfeltűnőbb, hogy a munkaidő alatti

expozíció semmi mással nem korrelál, a teljes napi expozíció pedig nagyon erősen összefügg az otthonival (M18. ábra). A GSM 900-as telefonoknál az utazással töltött idő az egyéb tevékenységekkel és az otthon az alvással mutat korrelációt, a napi expozíció viszont ezen a sávon legerősebben az utazástól függ (M18. ábra). A GSM 900-as bázisállomásoknál hasonló a helyzet, de sokkal erősebb az alvás és az otthon töltött idő függése, valamint a napi expozíció is leginkább ezektől függ. A 3G bázisállomásoktól származó expozíció napi értéke viszont egyáltalán nem függ az alvástól és az otthoni tartózkodástól, annál inkább az utazástól.

5.3.2. Módszertani eredmények

A módszertani eredmények közül az egyik legfontosabb a műszerek összehasonlítása valós mérési helyzetben. Több összehasonlító tanulmány is készült, azonban főként laboratóriumi körülmények között vizsgálták a műszereket (Lehmann et al. 2006, Juhász et al. 2009). Néhány lelkes kísérleti alany jóvoltából sikerült olyan méréseket végezni, amelyekben egy-egy önkéntes egyszerre több műszert hordozott magával. A két francia műszert 16, a három műszert pedig 7 eset alapján tudtam összehasonlítani.

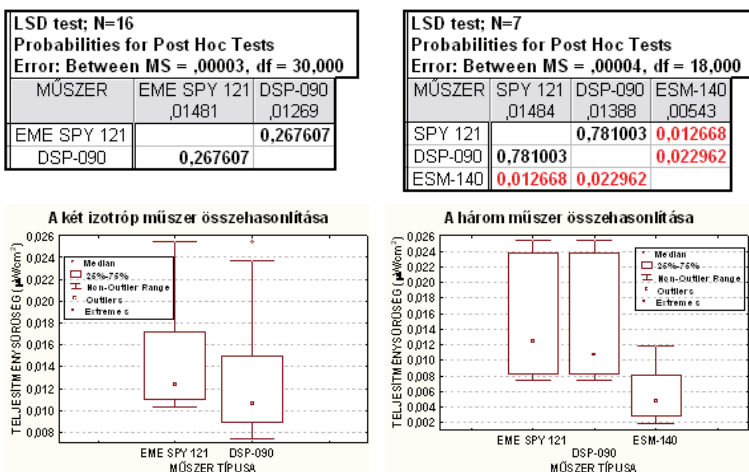
A 18. ábra egy olyan mérést ábrázol, amikor egy önkéntes egyszerre a három műszert hordta magánál egy kis táskában. Sorban: EME Spy 121, DSP 090 és ESM-140.



18. ábra: Ugyanaz a személy, ugyanabban az időben történt mérése a három műszerrel

A 18. ábrán jól látszik, hogy mennyire jó egyezést mutat a két francia műszer, és mennyire különböző a német társuk spektruma. Látszanak a mobiltelefon jelek, azonban látszik az is, hogy az EME Spy 121 műszer magasabb mérésátlára igenis jelentősséggel bír, mert 5 és 10 V/m között is detektált jelet. Látszik, hogy a mobilok jeleit az ESM sokkal alacsonyabbnak mérte, ráadásul nem választotta ketté (szín szerint ugyanazzal jelölte, tehát ugyanabba a frekvenciasávba sorolta) a felmenő (mobiltelefon) és lejövő (bázisállomás) jeleket. Látszik, hogy a DSP kihagyott egy WLAN jelet (ami nagy valószínűséggel egy mikrohullámú melegítésből adódott), mivel ezt a sávot ez a modell még nem detektálta.

Nyilvánvalóan az összehasonlítást nem ez alapján végeztem, hanem statisztikailag a 16, illetve 7 mérés alapján, melynek eredményei a 19. ábrán láthatóak.



19. ábra: A műszerek összehasonlítása

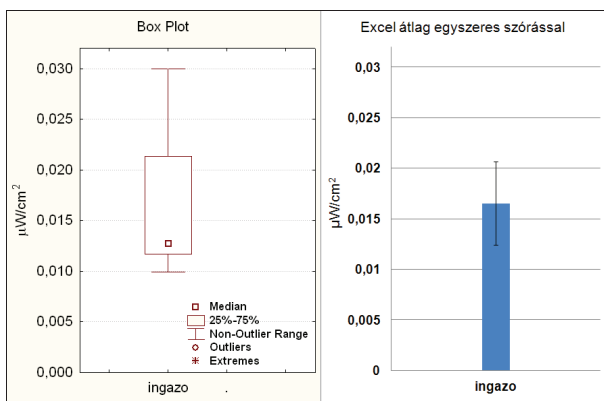
Ahogy az ábrákon és a teszteken is jól látszik, a két izotróp műszer eredményei között nincs szignifikáns különbség, míg az anizotróp műszer jelentősen alulbecsli az expozíciót.

A műszerek mellett az adatgyűjtésben fontos szerepe van a dokumentációnak, amit az OSSKI-tól kapott ajánlás után szintén magam fejlesztettem ki, és alakítottam minden felmérésnél a céloknak megfelelően.

Az adatfeldolgozás terén a programozó kollégákkal való több hónapos tervezés, konzultáció és tesztelés ellenére nehezen léptünk előre. Végül a módszertani fejezetben

vázolt megoldás született, amellyel jelenleg viszonylag könnyen telepíthető és megtanulható, azaz felhasználóbarát módon professzionális adatfeldolgozás végezhető el.

A kiértékelés szintén sokáig problematikus elem volt, illetve az elején alkalmazott helytelen módszerek helytelen következtetésekre vezettek. Kezdetben a rutin hiánya miatt nehéz volt eldöntenem, hogy mit és hogyan érdemes ábrázolni. Később, ahogy a mérések számának növekedésével egyre nagyobb jelentőséget kapott a helyes statisztikai módszer kiválasztása, világossá vált, hogy a feladat nem oldható meg az Excel® keretei között. A 20. ábra jól mutatja a különbséget az egyszerű átlag és szórás, valamint az ötpontos statisztikai ábrázolás között.



20. ábra: A boxplot és az Excel® összehasonlítása

Látható, hogy az Excel®-ben számolt átlag nem egyezik meg az adatok mediánjával, továbbá nem érvényesül a legkisebb és legnagyobb érték (20. ábra). Az Excel®-diagram alapján egy 0,017 körül szimmetrikus 0,004-es szórású eloszlást képzelünk, holott az adatok valójában egyáltalán nem szimmetrikusak, és nem 0-nál kezdődnek, ahogy azt a jobboldali diagram sugallja. A Box&Whiskers ábrázolással látható, hogy egy 0,01 és 0,03 közé eső adatokat tartalmazó, 0,013 körüli mediánnal rendelkező adatsorunk van. Az ábrán továbbá az is látszik, hogy az eloszlás mennyire nem szimmetrikus, azaz nem normális, de még csak nem is log-normális eloszlású, így a hagyományos (vagy legalábbis az Excel® eszköztárában megtalálható) szignifikancia-vizsgálatok nem végezhetők el.

Ezért kialakítottam egy elsődleges protokollt a kiértékelésre, amely ebben és a következő két fejezetben is jól nyomon követhető. Ennek lényege, hogy a feldolgozó

program által kiadott elektromos térerősségek időbeli átlagértékeit teljesítménysűrűsége $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ egységekbe átszámítva statisztikai analízisnek vettem alá. Ehhez többszempontú variancia-analízist és korreláció-analízist használok a frekvenciasávok, tevékenységek és az alanyokból bizonyos (felméréstől függő) szempontok alapján alkotott független csoportok közötti különbségek és összefüggések feltárására. Ez a végpont azonban nyitott, több új irány fogalmazódott meg bennem, amely másodlagos statisztikai protokollt alkothat a későbbiekben.

5.4. Diskusszió

A legfontosabb következtetés az, hogy az összes mért érték nagyságrendekkel az egészségügyi határértékek alatt van. A napi átlagértékek mediánja $0,014 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ ($0,23 \text{ V/m}$), utazás alatt $0,034 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ ($0,36 \text{ V/m}$), és alvás alatt $0,009 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ ($0,18 \text{ V/m}$). A maximális átlagérték az egyik diák utazása alatt adódott, ez $0,184 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ ($0,83 \text{ V/m}$), a pillanatnyi maximum pedig nyilván behatárolt a műszer felső méréshatára által, ez a 10 V/m -hez tartozó $26,5 \mu\text{W}/\text{cm}^2$. A 63/2004. ESzCsM rendelet szerint a 100–2500 MHz közötti frekvenciákra a vonatkoztatási határértékek $50\text{--}1250 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ ($14\text{--}69 \text{ V/m}$) között vannak.

A számok és a frekvenciasávok szerinti megoszlás ismeretében megállapítható, hogy ez a felmérés merőben más eredményeket adott, mint a korábbi külföldi (francia, svájci) tanulmányok. Egyezés mindössze a tevékenységek szerinti eloszlásban van, azaz hogy a legnagyobb expozíciót utazás alatt, a legkisebbet pedig alvás alatt mértük.

5.4.1. A diákok expozíciójának jellemzése

Frekvenciákat tekintve a diákok a GSM 900-as mobiltelefonok és bázisállomásaik, valamint a rádióadók sávjából kapták a legintenzívebben a sugárzást napi szinten, és ez lakóhelytől független volt. Tevékenységeket tekintve a legnagyobb expozíció utazás alatt, a legkisebb pedig alvás alatt adódott. Azonban megállapítható, hogy az FM alvás alatt a legjelentősebb, ez alapján következtethetünk arra, hogy a rádióadók mindenhol jelen vannak és kikerülhetetlenek, valamint még alvás közben is jóval nagyobb mértékű sugárzást bocsátanak ki más sávokhoz képest. Ennek a jelenségnek az oka, hogy a mobiltelefon rendszerek éjszaka kevésbé forgalmasak, viszont a rádió és TV műsorszórás 24 órában állandó. A 900 MHz-es sávok pedig utazás alatt erősek, ami egyébként nyilvánvaló, ha azt nézzük, hogy utazás közben elég

sokan intézik az ügyeiket mobiltelefonon, valamint a bázisállomások közelében való elhaladás is gyakoribb. Jelentős még az egyéb tevékenységek alatti expozíció, ami azonban nehezen megfogható kategória. Az egyéb tevékenységek minden olyanra vonatkoznak, amelyek a többibe nem sorolhatók, vagyis egyáltalán nem egyértelmű, hogy mit takar, éppen ezért fenntartásokkal kezelendő kategória. A további ilyen irányú vizsgálatoknál érdemes lenne specifikusabb csoportot vagy csoportokat létrehozni az eredmények nagyobb pontossága érdekében. Esetleg célszerű felosztani kültéri/beltéri, társas/egyéni, stb. „egyéb tevékenységekre”.

Lakóhelyeket tekintve nincs különbség az egyes csoportok között a napi teljes expozíció szempontjából, ami jó hír lehet a városban lakó, beépítettség miatt aggódó egyéneknek, illetve rossz hír lehet a civilizációs hatásoktól vidékre elvonulni szándékozók számára. Persze kiemelten rossz hírről nem beszélhetünk, hiszen minden esetben az egészségügyi határ alatti értékekről van szó.

Ugyanakkor ezt a csoportosítást frekvenciasávonként vizsgálva azt kaptam, hogy a 3G bázisállomások tekintetében az ingázók jelentősebb expozíciót szenvednek el, mint a vidékiek. Ez nem meglepő, mivel belegondolva az ingázók átlagban napi szinten több ilyen bázisállomás közelében haladnak el, mint azok, akik csak vidéken mozognak. Az azonban kérdés, hogy a másik két bázisállomás-frekvencia esetén miért nincs eltérés. Ezen felül, ha ezt a sávot tevékenységek szerinti bontásban vizsgáljuk, akkor az derül ki, hogy otthon mégis a vidékieket éri szignifikánsan nagyobb expozíció. És nem csak a 3G bázisállomásoktól, hanem a másik két bázisállomástól is, ráadásul azoktól alvás alatt is. Ez egyáltalán nem tűnik logikusnak, és az okainak kiderítése további részletes adatbázis-elemzést kívánna. Fordítva még megmagyarázható lenne, hiszen míg az ingázók többségében az agglomerációban élnek (azaz a fővároshoz közelebbi területen), addig a vidékiek ennél távolabb. Tehát a bázisállomások száma nyilván kisebb azon a területen, ahová aludni járnak haza. Az anomália okának kiderítéséhez vissza kellene keresni a konkrét lakóhelyeket, előfordulhat, hogy éppen ezek a vidéki diákok sűrűn beépített helyekről származnak, és pont ezek az ingázók kevésbé beépített helyeken laknak. Ezek az anomáliák egy újabb adatbányászati fejezetet nyithatnak, amiből kiépíthető egy másodlagos statisztikai protokoll.

Összességében talán azért nem mutatkozik eltérés, mert a bázisállomásokra viszont utazás alatt a fővárosiaknál jelenik meg a nagyobb expozíció. A vidékiek leginkább hétvégente kapták meg a mérőeszközt, ennek köszönhető ez az eredmény,

hiszen a városban nyilvánvalóan több bázisállomás található, melyekkel utazás közben kapcsolatba lép az ember, mint vidéken. Elég gyakorta megfigyelhető az is, hogy az utasok nagy része utazása alatt szereti intézni telefonos ügyeit, tehát ez a sugárzás mindenképpen érne bennünket még akkor is, ha esetleg nem rendelkeznenk mobiltelefonnal. Az ingázók ebből a szempontból mondhatni rosszabb helyzetben vannak, hiszen jóval többet utaznak, mint a vidékiek vagy városiak, így hosszabb ideig vannak kitéve expozíciónak. Ennek ellenére az utazás alatti expozíciójuk nem adódott szignifikánsan magasabbnak. De itt megjelenik a DECT is, és elgondolkodtató, hogy utazás során miért mérünk egyáltalán vezeték nélküli otthoni telefonoktól származó jeleket. Ennek oka nagy valószínűséggel a műszer működésében keresendő. Az 1800 MHz-es bázisállomások és a DECT sávja nagyon közel van egymáshoz, és a műszer gyakran nem tud különbséget tenni a kettő között. Tehát a továbbiakban az utazás alatt mért DECT ennek a hibának tudható be és lényegében azonosnak vehető a GSM 1800 MHz-es bázisállomásokkal (Juhász et al. 2009).

Az egyetemi tartózkodásra nem kaptam eltérést a csoportok között, ahogyan az elvárható is, hiszen ugyanazon az egyetemen, ugyanabban a környezetben tartózkodnak mindannyian, ez nem függ a lakóhelyüktől vagy utazási szokásaiktól.

Ha megnézzük a két legtöbbször szignifikáns eredményt mutató sávot, azaz a GSM 900-as bázisállomások, valamint telefonok sávját, akkor azt az eredményt kapjuk a Kruskal-Wallis teszt alapján, hogy a GSM 900-as bázisnál különbség van a vidékiek, valamint ingázók értékei között otthon és alvás közben, a városiak és vidékiek között pedig utazás közben. Ugyanezen a sávon kézi készülékekre nézve viszont nincs szignifikancia lakóhelyek között. Ebből az látszik, hogy a bázisállomások szerepe jóval nagyobb, mint maguké a telefonoké.

Az egyes tevékenységek vizsgálatában az összes diákot tekintve munkaidő alatt a GSM 900-as sávok, valamint az FM rádió adódott jelentősnek. Ebből arra lehet következtetni, hogy az egyetem közvetlen közelében (például láthatóan a tetején) mobiltelefon bázisállomás, illetve rádió-átjátszó-antenna található.

Otthon a GSM 900 MHz-es bázisállomások és az FM mellett jelentős még a DECT, ez a vezeték nélküli otthoni telefonok elterjedésének tudható be. Alvás alatt ez utóbbi kevésbé jelenik meg, ami azt jelenti, hogy a diákok –nagyon helyesen– nem abban a szobában alszanak, ahol a telefon van.

Utazás alatt a GSM 900-as sávok mellett megjelenik az 1800 MHz-es bázisállomás és a WLAN is. Ez utóbbi nyilván köszönhető a WiFi széleskörű használatának, valamint, hogy manapság már a távolsági buszokon és vonatokon is fellelhető ez az internet-lehetőség. Az egyéb tevékenységek alatt nem meglepő módon a 900 MHz-es bázisállomások mellett, jelentős mértékben a 900 és 1800 MHz-es telefonok képviseltetik magukat.

A korrelációk a tevékenységek tekintetében nem meglepőek, hiszen nagyrészt otthon alszunk, így ezek a mérések nagyban átfedhették egymást. Az egyéb tevékenységeknél már említettem azt a problémakört, hogy nem igazán meghatározható mit fednek, hiszen minden más beletartozik, amit a többibe nem tudunk besorolni. Például kutyasétáltatás, szórakozás, bevásárlás, diákmunka, sportolás, stb. Ezek közül sok az otthon környezetében is történhet, avagy nagyon hasonló környezetben, mint az otthoni. Ezzel magyarázható a korreláció a két tevékenységek között. Megfigyelhető még az utazás és az egyéb tevékenységek korrelációja, amit ugyancsak magyarázhatunk az előzőek mintájára, hiszen az egyéb tevékenységek végzéséhez –hacsak azok nem otthon végezhetőek– nyilván gyakorta utazni kell. Az is jelentős eredmény, hogy a napi expozíció jellemzően az otthonival korrelál és leggyengébben a munkával. A 0,75-ös korreláció akár alapot is adhat egy becslési módszernek, mely a napi expozíciót az otthonival közelíti, habár nem hagyhatjuk figyelmen kívül azt sem, hogy a napunk során a legjelentősebb átlagos expozíció utazás alatt ér minket.

Frekvenciákat tekintve erős korreláció van az FM és a TV-UHF sávok között, méghozzá azért, mert ahol rádióadás-sugárzás található, ott nagy valószínűséggel TV-műsor-sugárzás is van. A TV-VHF és TV-UHF által kibocsátott expozíciós értékek is összefüggnek, szintén nem meglepő módon. Valamivel gyengébb, de nem elhanyagolható a TETRA és WLAN együttműködése, melynek oka az lehet, hogy manapság a készenléti katasztrófavédelem felkészült kommunikációjához elengedhetetlenek a nagysebességű számítógépes vezetéki hálózatok. Nagyon komoly korreláció figyelhető meg természetesen a GSM 900-as és 1800-as telefonok, valamint ugyanezen bázisállomások sávjai között. Ahol ugyanis egyik van, ott szinte biztos, hogy a másik is. Néha még egy-egy mobiltelefonos beszélgetés közben is változik, hogy épp melyik frekvenciasávot használja a készülék. Ezen kívül megemlítendő még a GSM 900-as és 1800-as bázisállomások és a 3G bázisállomások expozíciójának egyértelmű összefüggése, ezek a bázisok biztosítják ugyanis a 3G sávját

is. A bázisállomások összefüggésben vannak a TV-UHF-fel és az FM-mel, amire magyarázat mindezen technológiák igen széleskörű elterjedtsége, valamint az, hogy ezeket az adókat gyakran mind egy helyre telepítik. A teljes expozíció pedig jellemzően a 900 és 1800 MHz-es telefonok és bázisállomások sávjaival korrelál, illetve a DECT-el, amelyről azonban nem lehetünk mindig biztosak, hogy valóban az-e, vagy esetleg GSM 1800-as bázisállomás.

Összességében elmondható, hogy a diákok esetében a napi expozíció legerősebben az otthonitól függ, de a legjelentősebb az utazás alatti expozíció. A legkiugróbb sávok a GSM frekvenciák, valamint az FM, de ez utóbbi főleg otthon jellemző. A telefonok elsősorban utazás alatt adnak nagyobb sugárzást, így még az is megeshet, hogy adott esetben egy diáknak a telefonoktól származó expozíciójának töredéke származik a sajátjától. Ez azért lehet lényeges, mert ebben az esetben a távolságok miatt az SAR alig becsülhető.

A „passzív mobilozás” jellemzően utazás alatt történik, így például érdekes lehet egy tömegközlekedési eszköz vezetőjének, vagy esetleg BKV-ellenőrnek az expozícióját vizsgálni, aki a napja nagy részét tömegközlekedési eszközön tölti. Érdemes lenne feltérképezni továbbá azt is, hogy az egyén teljes telefonoktól származó, műszer által mért expozíciójából mennyi valójában a saját készülékétől származó expozíció.

5.4.2. A módszertani eredmények

Lehetőségem nyílt néhány eset alapján összehasonlítást végezni a műszerek között is, ennek eredményeként két fontos megállapítás tehető. Az egyik, hogy a DSP-090 és az EME Spy 121 egyezőt mér, legalábbis azokon a csatornákon, amelyeket mindkettő vizsgálja. Sajnos azonban statisztikailag mégsem lehet együtt kezelni a kétféle műszerrel készült méréseket, mivel amellet, hogy a DSP-nek csak 5 V/m a felső méréshatára, még bizonyos sávokon hiányoznának az adatok, s ezek rontanák a statisztikát. A másik lényeges megállapítás, hogy az ESM-140 –feltehetően anizotrópiájából adódóan– ezektől eltérő értékeket mutat, ezen kívül a készülékek és bázisállomások („Uplink” és „Downlink”) jeleinek szétválasztását sem oldja meg minden esetben tökéletesen. Ezeket a hiányosságokat laboratóriumi körülmények között más kutatók is megállapították már (Lehmann et al. 2006, Juhász et al. 2009). Rádásul méréseimből kiderült, hogy a rádióadóktól származó expozíció kiemelt szerepet játszik

a napi expozícióban, tehát szükséges, hogy a műszerünk ezt is vizsgálja. Fontos módszertani eredmény, amely kutatócsoportunktól származik, hogy a műszerek pozicionálása alapvető jelentőségű. Lényeges könnyebbség az alanyok számára, hogy használhatnak övtáskát az eszköz hordozására és nem szükséges a gyártó által előírt övcsattal hordani a műszert. (Juhász et al. 2009)

A dokumentáció, és ezen belül is a napló fejlesztése apróságnak tűnhet, de a napló pontosan ugyanolyan súlyú eleme a felmérésnek, mint a mérőeszköz. Egy, az alanyok számára logikátlan és kényelmetlen napló nagyon megnehezítheti a feldolgozást, vagy akár használhatatlanná tehet egy egész mérést. Az általam kitalált formátum a tapasztalatok alapján mind a mérést, mind pedig a feldolgozást végző személy számára megfelelő.

A feldolgozás terén tervezek még fejlesztéseket nemzetközi konzultáció mellett, hosszútávú cél egy web-es felület, amely a különböző országok expozimetriai adatbázisainak globális gyűjtőhelye lehet.

Az általam kifejlesztett statisztikai protokoll egy elsődleges elemzésre alkalmas, emellett más vizsgálatok felé is érdemes még nyitni. Az anomáliák, valamint a kiugró és extrém értékekhez tartozó adatok visszakeresése és összesítése a másodlagos protokollt alkothatja, de emellett célravezető lehet még az epidemiológiai vizsgálatokhoz hasznos klasszifikáció alkalmazása. Ennek lényege, hogy cluster-analízis alkalmazásával különböző expozíciós osztályokba soroljuk a résztvevőket, és ez alapján próbáljuk megtalálni a közös pontokat.

Mindent összevetve, az általam kifejlesztett mérési, feldolgozási és kiértékelési protokoll nemzetközi összehasonlításban újszerű, és alkalmas az ilyen jellegű felmérések elkészítéséhez. Látható továbbá, hogy az ilyen vizsgálatok szükségesek, és a munkánk nagyban hozzájárulhat egy egységes nemzetközi mérési- és kiértékelési eljárás kidolgozásához, az eredményeink pedig epidemiológiai vizsgálatok alapjául szolgálhatnak.

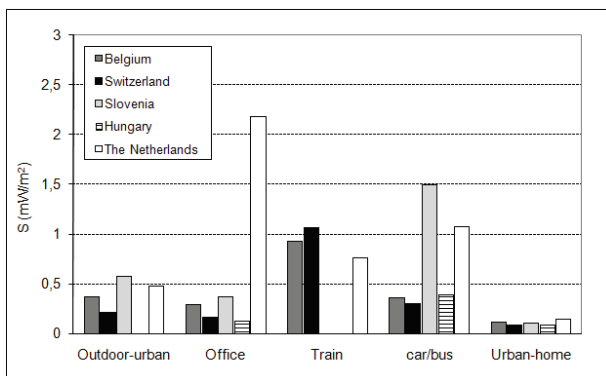
5.5. Az egyetemisták felméréséhez kapcsolódó eredmények: Nemzetközi összehasonlítás és SAR számolása

Az egyetemisták adatai részt vettek egy nemzetközi összehasonlításban is, az alapvetően belga tanulmány célja 5 európai ország (Belgium, Svájc, Szlovénia, Hollandia és Magyarország) expozíciós adatainak az összehasonlítása volt (Joseph et al.

2010c, 2012). Az országokban ugyanazon expoziméterrel végeztük a méréseket, az átlagos expozíciós szinteket összehasonlítottuk különböző mikrokozmoszokban pl. otthon, tömegközlekedésen. A különböző mikrokozmoszok a következők voltak:

- kültér-város-napközben (námam „utazás0” és „egyéb” egy része)
- beltér-iroda-napközben (námam „munka”)
- beltér-vonat-napközben (námam „utazás1”)
- beltér-autó/busz-napközben (námam „utazás2”)
- beltér-otthon-napközben (námam „otthon”)
- beltér-otthon-éjjel (námam „alvás”).

Az expozíció nagysága minden országban hasonló nagyságrendű volt, 0,0067 és 66,3 mW/m² között változott, és mindig a nemzetközi határérték alatt volt (sőt, még az országoként esetleg szigorúbb értékekhez képest is). Az átlagos expozíciók mikrokozmoszoként és országoként a 21. ábrán láthatók.



21. ábra: Átlagos expozíció mikrokozmoszoként és országoként (eredeti ábra az angol nyelvű cikkből)

A legnagyobb expozíciós értékeket a tömegközlekedési járműveken mérték (kivéve Hollandiát, ahol az irodában), és a mintázat szinte minden országban hasonló volt. Legjelentősebb a tömegközlekedés, azután következik a kültér, majd az iroda és az otthoni környezet. Minden országban a legalacsonyabb expozíció otthon volt. Ez szép megerősítése méréseink megbízhatóságának.

Magyarországon, Szlovéniában és Hollandiában az expozíció jelentős része származott a mobil-telekommunikációból, Hollandiában a kültér kivételével mindenhol a telefonok jelei domináltak. Kültéren inkább a bázisállomások jelei voltak jelentősek,

különösen Belgiumban és Hollandiában. Utazás közben a besugárzás nagy része (vonaton 92,5-96,6%-a, autóban/buszon 62,5-94,4%-a) a mobiltelefonoktól származott. Az otthoni környezetben a frekvencia szerinti eloszlás országonként rendkívül változó volt. A TETRA, WLAN és a TV-adók jelei minden országban és minden mikrokörnyezetben elhanyagolhatóak voltak.

A tanulmány egyik jelentősége, hogy az adatfeldolgozáshoz és a kiértékeléshez egységes módszertant használtunk, azonban az egyes felmérésekben jelentkező módszertani eltérések miatt mégis nehéz volt elvégezni az összehasonlítást (látjuk az ábrán, hogy bizonyos mikrokörnyezetek nem képviseltek egyes országokban, többek között nálunk, mivel nem kaptunk előre pontos információkat a módszertannal kapcsolatosan).

Általánosságban elmondható, hogy a tanulmányokban a mért elektromos térerősség értékeket gyakran átkonvertálják SAR_{wb} -re (Whole Body SAR). A fenti öt ország összehasonlításához használt adatokkal is éppen ezt tettük. Az átlagos expozíciót, (kivéve belőle a mobiltelefonoktól származót, mert mint említettem az megkérdőjelezhető lehet), teljes testre vonatkozó SAR értékekre számoltuk át. Egy 1 éves gyerek és egy felnőtt férfi modellt alkalmaztunk. Az összes átlag, és a maximális SAR is (gyerekekre 3,4 és felnőttre 1,8 $\mu W/kg$) messze az ICNIRP által meghatározott határérték alatt van (80 $\mu W/kg$). Általában az SAR jól korrelált az expozícióval, habár a mikrokörnyezet, a frekvencia és a fantom méretei befolyásolták ezt. A gyermekeknél a televízióadók, míg a felnőttek esetében az FM eredményezte a legnagyobb SAR értékeket, ami a testmérettől függő elnyelés miatt alakult így (Joseph et al. 2010c, 2012).

6. Bázisállomások közelében élők expozíciója

6.1. Bevezetés

2010 nyarán az Országos „Frédéric Joliot-Curie” Sugárbiológiai és Sugáregészségügyi Kutató Intézet közreműködésével kutatócsoportom részt vett egy magyarországi mobilszolgáltató cég megbízásából egy átfogó felmérésben. A vizsgálat célja a civil lakosságot otthon érő, bázisállomásoktól származó elektromágneses expozíció meghatározása volt. Ennek megfelelően ez elsősorban mikrokörnyezetes mérés volt.

A lakosság körében terjedő tévhitek, félelmek közül a leggyakoribb a lakóházak tetején lévő antennák sugárzásával kapcsolatos. Kutatásaink tehát a lakosság bevonásával végeztük el, bázisállomások közelében, erre a célra kifejlesztett személyi expozíciómérőkkel. Egy mobilszolgáltatótól kapott térkép alapján 6 bázisállomás környezetében kerestük fel a paneltömbökben és családi házakban élő lakókat, és meghatározott elvek mentén körülbelül 100 mérést hajtottunk végre. Az adatgyűjtésből elsősorban az egyik kistérségi régióban vettem ki a részem, ami az összes adat kb. negyedét tette ki, azonban ennek feldolgozása és a teljes statisztikai analízis a saját munkám.

6.2. Anyag és módszer

Mindenki számára köztudott, hogy az optimális mobilszolgáltatás biztosítása érdekében sok adó-vevő készülék, bázisállomás telepítésére van szükség. A sugárzás karakterisztikájából adódóan érdemes magas helyen, egyéb tereptárgyak árnyékoló hatását kiküszöbölve elhelyezni. Városi körülmények között többnyire magasabb lakóépületek tetején található bázisállomás. A vizsgálat alá eső bázisállomások, lakóövezetek helyét a mobilszolgáltató bocsátotta rendelkezésünkre. Az adatok birtokában méréseink fókuszába két nagy csoport, a családi házakban és a paneltömbökben élők kerültek. A sugárzás jellemzőit is figyelembe véve a méréseknél az alábbiak szerint további feltételeket szabtuk, hogy kik kerüljenek a mintába (22. ábra):

- A mérések során előtérbe kerültek azok a házak, amelyek tetejére bázisállomást telepítettek.

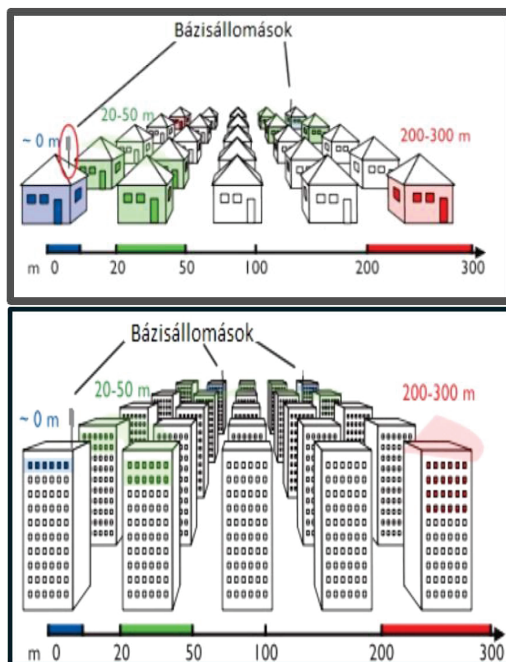
- Adott bázisállomás 300 méteres hatókörén belül nincs másik, vagy más szolgáltató bázisállomása.

- A bázisállomás irányítottságának megfelelően a hatókört 3 távolság-intervallumra osztottuk fel és panelházak esetén ezen belül is lakómagasság-korlátot szabtuk meg a sugárzás karakterisztikájának megfelelően:

I. körzet: bázisállomás alatti emeleten élők (10. emelet)

II. körzet: az I. körzet szomszédsága, ami a bázisállomástól 20-50 méterre becsülhető (ezekben a házakban a 8.-10. emelet közt élők)

III. körzet: az I. körzettől távolabb, a bázisállomástól nagyjából 200-300 méterre (itt az 5.-10. emelet közt élők)



22. ábra: A vizsgált körzetek elhelyezkedése. Az egyes színek a körzeteket jelzik.

A mérések során az igazi kihívást a civil lakosság bevonása jelentette. Szóró- és reklámanyagokkal, plakátokkal igyekeztünk felhívni a figyelmet kutatásunk fontosságára. Az általam feldolgozott területben 500 db kihelyezett szóróanyag alapján

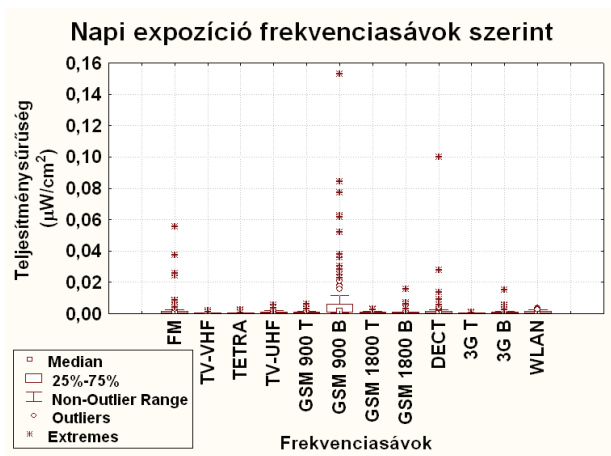
38-an jeleztek vissza, akik közül 27-en feleltek meg a vizsgálatához. Csak az alanyok felkutatásának fázisa mintegy másfél hónapot vett igénybe. A jelentkezők adatait bizalmasan kezelve táblázatba foglaltam, a feltételeknek megfelelő lakókat telefonon, illetve elektronikus úton történő egyeztetést követően kerestem fel otthonukban. Ekkor részletes információkkal láttam el őket a mérés menetéről, amire általában 30-60 percet kellett szánni.

A mérés módszertanában a korábban már kidolgozott módszert alakítottam a mostani kutatás céljainak megfelelően. A mérés 24, illetve 48 órán keresztül tartott 30 másodpercenkénti mintavételezési gyakorisággal, EME Spy 121 típusú mérőeszközzel. Az alanyok egy pontos utasításokat tartalmazó, részletes mérési naplót vezettek a napi tevékenységeikről. Az 5 fő tevékenységi kör közül („Otthon”, „Munka”, „Utazás”, „Egyéb”, „Alvás”) számunkra tehát az otthon és alvással töltött idő volt érdekes.

A kutatás alapvető célja a lakókat érő, bázisállomásoktól származó expozíció távolságfüggésének vizsgálata volt. Az elsődleges protokollnak megfelelően az adatok analízisét ötpontos statisztikai megjelenítéssel (Box&Whiskers plot) és nem-paraméteres próbákkal végeztem a Statistica® szoftvercsomag segítségével.

6.3. Eredmények

A személyi expoziméter 12 frekvenciasávon detektálta a jeleket, melyeket az alábbi összefoglaló 23. ábra mutat be.

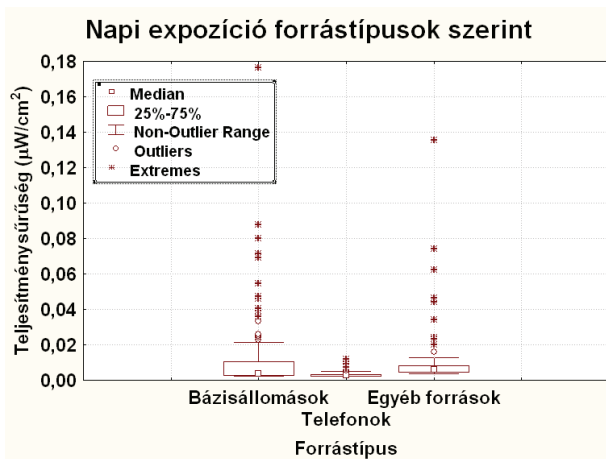


23. ábra: Napi átlagos teljesítménysűrűség frekvenciasávonként

Az átlagolt teljesítménysűrűség adatok megmutatják, hogy bár az összes forrásból származó sugárzás együttvéve sem haladja meg a megengedett érték töredékét sem, mégis a legjelentősebb forrásnak a bázisállomások állandóan kibocsátott jelei bizonyulnak. Ezen belül is a 900 MHz frekvencián a legszembetűnőbb az érték, amiből következtethetünk a felmérést támogató szolgáltatóra is.

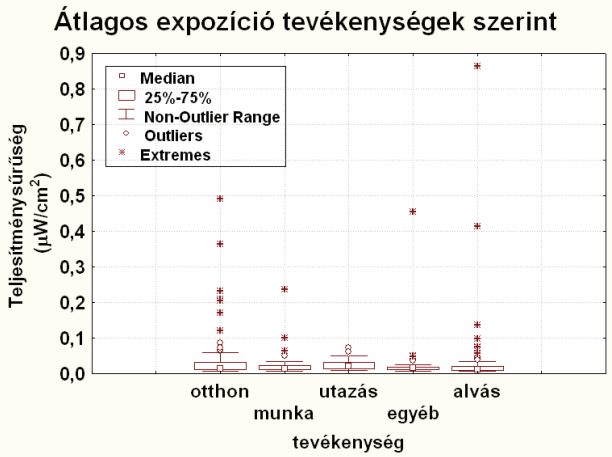
A Friedman-próba megmutatta, hogy szignifikáns különbség áll fenn a 12 frekvenciásáv adatai közt, a Fisher LSD teszt által kimutatott pontos összefüggéseket pedig a M19. ábra foglalja össze.

A 900 MHz-es bázisállomások expozíciója minden más forrás expozíciójához képest jelentős különbséget mutat. Ez a szembetűnő eredmény tehát megerősítette kutatásunk jelentőségét. A táblázatban látható még, hogy néhány sávhoz képest az FM rádió is magasabb, de ez nem jelentős. Azonban az alábbi ábrán érdemes megfigyelni, hogy a mobilkommunikáción kívüli összes egyéb forrás sugárzása összemérhető a bázisállomásokéval. A források típusát tekintve a 24. és M20. ábra eredménye megmutatja, hogy azok mértéke közt számottevő különbség áll fenn. Érdekes észrevenni, hogy a leginkább felkapott téma, a telefonok által kibocsátott sugárzás mértéke vizsgálatainkban mindenhol jelentősen alatta maradt mind a bázisállomások, mind az egyéb források jeleinek mértékéhez képest.



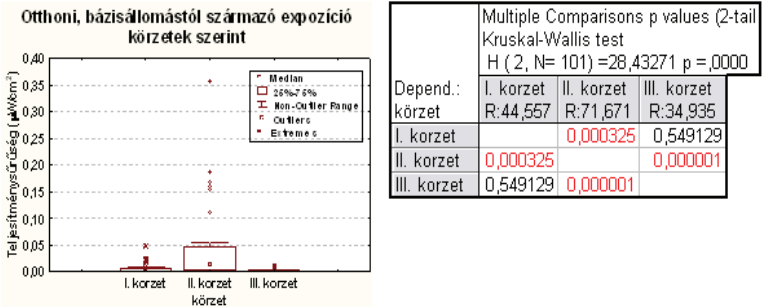
24. ábra: Napi teljesítménysűrűség forrásonként

A lakosság által vezetett mérési naplók következtetni engedtek a teljesítménysűrűségek és az egyes egyéni életmódok közötti összefüggésekre. A 25. ábra az expozíciók tevékenységek közti megoszlását mutatja be.



25. ábra: Teljesítménysűrűség tevékenységenként

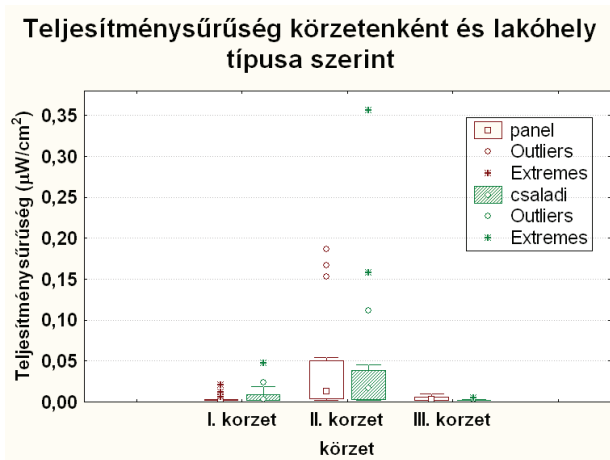
A tevékenységek szerinti vizsgálat szerint egyik sem jelentősebb a másikkal, köztük nincs szignifikáns különbség, mivel a Friedmann próba eredménye negatív lett. Ez, valamint az, hogy van még két másik változó a rendszerben (körzet és lakóhely típusa) további vizsgálatokra indított, így elvégeztem a 26. ábrán látható körzetenkénti analízist, azonban már csak a bázisállomás által kibocsátott térerősség értékek alapján számolt, és csak otthoni teljesítménysűrűség adatokkal.



26. ábra: Otthoni, bázisállomástól származó átlagos teljesítménysűrűség körzetenként

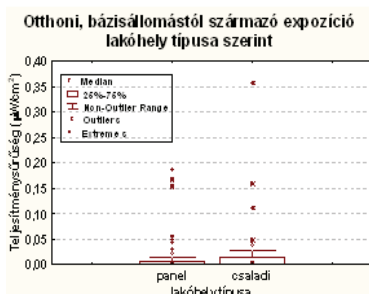
Az ábrán jól látható, hogy mindenképpen a II. körzetben élők átlagos expozíciója a legjelentősebb, ám még ez sem haladta meg soha a $0,4 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ értéket. A Kruskal-Wallis teszt eredménye alapján kijelenthetjük, hogy az I. körzet a II. körzettel, valamint a II. körzet a III. körzettel határozott különbséget mutat.

A mérések kiterjedtek mind panelházakra, mind családi házakra. A feldolgozás során kíváncsi voltam, hogy a panel és családi házakban élőket érő expozíció mértéke között van-e különbség.



27. ábra: Otthon mért, bázisállomástól származó teljesítménysűrűség panel és családi házakban, körzetenként

A 27. ábrán látható, hogy valóban különbségek mutatkoznak. Az M21. ábrán összefoglalt Kruskal-Wallis teszt alapján elmondhatjuk, hogy paneltömbök esetén az I. körzet és II. körzet között jelentős különbség van, a családi házak esetén az I. a III. körzettel, valamint a II. a III. körzettel mutat eltérést. Azonban ez utóbbi eltérés negatív irányba értendő, azaz a III. körzet a másik kettőnél szignifikánsan kisebb értéket mutat. Ugyanezt a kérdést másik irányból vizsgálva látható, hogy a panel és családi környezet összességében nem különbözik egymástól szignifikánsan (28. ábra).



Multiple Comparisons p values (2-tailed Kruskal-Wallis test: $H(1, N=101) = 1773523$ $p = 6737$)		
lakóhely típus	panel	családi
panel	R:52,216	R:49,760
családi	0,673663	

28. ábra: Kruskal-Wallis teszt és ábrázolás lakóhely típusa szerint

Azonban, ha körzetenként vizsgáljuk, akkor kiderül, hogy a III. körzetben, azaz a bázisállomástól távolabb a panellakókat magasabb sugárzás éri (M22. ábra). Továbbá, ugyan nem szignifikánsan, de a bázisállomás alatt, azaz az I. körzetben a panellakókat kevesebb sugárzás éri.

A korrelációk vizsgálatakor kiderült, hogy a teljes expozíciót tekintve a napi érték legerősebben itt is az otthonival korrelál, valamint az alvással, és legkevésbé az egyébbel. Ezen kívül kisebb-nagyobb mértékben minden tevékenység korrelál egymással, de 0,5 fölötti korreláció csak az alvás és otthoni tartózkodás, valamint a munka és az alvás között található. Ez utóbbira egyelőre ésszerű magyarázatot nem tudunk adni.

A frekvenciák tekintetében egyértelmű összefüggés van a rádió, a TV-k és a TETRA között, ahogy azt már a diákoknál is láttuk. A TETRA egyébként a WLAN kivételével mindennel összefüggést mutat. Az FM és az UHF a WLAN-nal is erősen összefügg, valamint a telefonok és a bázisállomások esetén korábban tapasztalt összefüggés is kimutatható. Érdekes azonban, hogy a GSM 1800-as telefonok sávja minden sávval összefüggést mutat. Megemlítendő még, hogy a WLAN és a GSM 900 telefon között negatív korreláció van. A teljes expozíció pedig napi szinten a legerősebben a 900 MHz-es és 3G-s bázisállomásoktól függ (M23. ábra).

6.4. Diskusszió

A frekvencia szerinti eredmények megerősítették kutatásom alap-elképzelését, miszerint a bázisállomások által kibocsátott sugárzással foglalkozni kell, hiszen detektálható mértékével és állandó jelenlétével mindennapjaink szerves részét alkotja.

A tevékenységek vizsgálata szerint egyik sem jelentősebb a másikinál, köztük nincs szignifikáns különbség. Ez azért is érdekes, mert az összes eddigi tanulmányban, a saját diákokkal való méréseimben is, az utazás alatti expozíció szignifikánsan magasabbnak adódott minden másnál, és az alvás alatti pedig a legkisebbnek.

A sokféle egyéni életútnak köszönhetően a nem otthon töltött időre vonatkozóan ezzel a módszerrel nem lehetett releváns összefüggéseket megállapítani, azonban az otthon töltött idő vizsgálata, melybe beletartoznak az alvás órái is, érdekes eredményeket hozott.

Mindenképpen a II. körzetben élők átlagos expozíciója a legjelentősebb, ám még ez sem haladta meg soha a $0,4 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ értéket. Ez három nagyságrenddel van a jelenleg hatályos egészségügyi határérték alatt ($450 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ 900 MHz esetén). Ez az eredmény szintén alátámasztja korábbi feltételezésünket, miszerint a bázisállomás szomszédságában a legjelentősebb az expozíció. Fontos eredmény, hogy a bázisállomás alatt és attól távolabb mért expozíció mértéke között nincs jelentős különbség.

Amit sokan nem tudtak a lakók közül, hogy az elektromágneses hullámokat kibocsátó antennák, az antenna tengelyének irányába, azaz függőlegesen nem sugároznak. A mobiltelefon bázisállomásokról még az is elmondható, hogy egészen kis szögben irányított nyalábbal dolgoznak. Ezért ahogyan azt a sugárzás karakterisztikája alapján vártuk is, valóban a bázisállomás szomszédságában élőket éri a legnagyobb terhelés. Ami azonban elsőre meglepő, hogy közvetlen a bázisállomás alatt, az első körzetben is detektálható mértékű télerősséget kaptunk. A III. körzetben az I. körzethez nagyjából hasonlóan alacsonyak az értékek. Ez könnyen magyarázható, hiszen a teljesítménysűrűség fordítottan arányos a távolság négyzetével, ráadásul a köztes házak árnyékoló hatással rendelkeznek. Az I. körzetben tapasztaltak oka pedig abban rejlik, hogy a beépítettség miatt, a sugárzás hullámtermészetéből fakadóan, visszaverődések lépnek fel.

Érdekes, hogy alapvetően nincs különbség a lakóhely típusában, de akik családi házban közvetlen a bázisállomás alatt élnek, nagyobb mértékű besugárzásnak vannak kitéve otthonukban, a panellakásokban élő társaikhoz képest. Erre is kerestem az ésszerű magyarázatot. Mindkét esetben a bázisállomás által kibocsátott elektromágneses sugárzás a szomszéd házak faláról reflektálódik, azonban a családi házak esetén éppen oda, ahol mérünk, míg paneltömbök esetén visszavert sugarak inkább a 10. emelet alatti szinteken lennének mérhetőek, de az I. körzetben csak a legfelső szinten végeztük a

méréseket. Szintén a sűrű visszaverődés lehet az oka annak, hogy a bázisállomástól távolabb a panellakásokban nagyobb az expozíció, mint a családi házakban. Vagy akár az is elképzelhető, hogy ebben a körzetben már mérhetően bezavar más közeli bázisállomás jele, annak ellenére, hogy kb. 300 méteres körben „tisztá” körzeteket jelöltünk ki. Az eredményeket a későbbiek során érdemes lehet összevetni egy térinformatikai modell segítségével előállított térbeli eloszlással, amely esetleg egy elkövetkezendő hasonló felmérés megtervezéséhez is hasznos lehetne.

A teljes napi expozíció a legerősebben az otthonival korrelál, valamint az alvással, és legkevésbé az egyébbel, továbbá nem meglepő módon a diákokhoz hasonlóan itt is korrelál az alvás az otthoni tartózkodással.

A frekvenciák tekintetében egyértelmű összefüggés van a rádió, a TV és a bázisállomások között, ami arra utal, hogy a 6 helyszín közül volt olyan (akár több is), ahol az adótorony mellett TV-rádió átjátszó is volt telepítve. Érdekes azonban, hogy a GSM 1800-as telefonok sávja minden más sávval összefüggést mutat, talán a lakosság körében ez a mobilszolgáltató volt jellemző. A teljes expozíció pedig napi szinten a legerősebben a 900 MHz-es és 3G-s bázisállomásoktól függ, ami szintén nem meglepő, hiszen így válogattuk a résztvevőket.

7. Óvodások expozíciója

7.1. Előzmény: egy magyar óvodai tanulmány

A személyi RF expozíció vizsgálata már évek óta az egyik fő vizsgálati terület a bio-elektromágnesességgel foglalkozók körében. Azonban –néhány kivételtől eltekintve– ezen tanulmányok a felnőttek vizsgálatára korlátozódtak, noha a gyermekek számításának az egyik célcsoportnak. A tanulmány során tanárokat/óvónőket ért expozíciót mértünk, feltételezve, hogy ezek a mért eredmények vonatkoztathatóak lehetnek a gyerekekre. Erre azért van szükség, mert a gyerekekre nem lehet egy ilyen feladatot rábízni, mivel a szülők meggyőzése problémás lenne, a drága mérőműszerekben könnyen kárt tehetnének, stb. (Juhász et al. 2011)

Összesen 31 általános iskolai tanár, 50 óvónő és 51 önkormányzati dolgozó (akik a kontrollcsoportot alkották) vett részt a mérésben Magyarország 4 városából (Budapest, Szeged, Eger, Szolnok) 2009-ben és 2010-ben. Ezek az önkéntesek 24 órán át viselték egy övtáskában az EME Spy 121-et, illetve egy cselekménynaplóban rögzítették az 5 különböző típusba sorolt tevékenységeiket. A korábban bemutatott Perl[®]-alapú grafikus szoftvert használtuk az adatok tárolására, letöltésére és arra, hogy kinyerjük az információkat a naplókából (Juhász et al. 2011).

Ahhoz, hogy pontosan becsülni tudjuk a gyerekeket ért expozíció mértékét, szükségszerű volt a cselekménynaplóban lévő bejegyzéseket 0-5 között értékelni az alapján, hogy milyen biztonsággal jelenthetjük ki, hogy az önkéntes ténylegesen a gyerek közelében volt. Az 5-ös kategóriába azok a bejegyzések (illetve a hozzá tartozó mért adatok) kerültek, melyeknél megállapítható, hogy a felnőtt ténylegesen a gyerekek közelében volt, pl. iskolai óra, csoportfoglalkozás, stb., míg a 0-ás kategóriába, ahol ténylegesen nem voltak egymás közelében, pl. hazautazás, otthon. Ez a fajta kategorizálás fárasztó és egyhangú munka volt, emellett információk hiányában sokszor nem is lehetett eldönteni, hogy az adott bejegyzések melyik kategóriába tartozzanak. Kiemelten fontos volt, hogy az 5-ös kategóriába csak azokat soroljuk, amelyekről biztosan tudjuk, hogy oda tartozik, tehát konzervatív becslést alkalmaztunk. Ezt követően az adatok statisztikai kiértékelése, melynek során először csak az 5-ös kategóriában lévő adatokat értékeltük ki, ez tükrözte leginkább a gyerekeket ért expozíciót. Majd folyamatosan hozzáadtuk a kiértékeléshez a többi kategóriát, és így megfigyelhettük a

statisztikai adatmennyiségünk hígulását. Az adatok kb. 5,7%-a tartozott az említett 5. kategóriába. Sajnálatos módon ehhez hozzájárult még a használt műszernek az a komoly hátránya, hogy a 0,05 V/m alatti értékeket nem képes detektálni. Ezek alapján a használható adatok mennyisége a legtöbb frekvenciasáv esetén 20% alatti volt (Juhász et al. 2011).

A GSM 1800-tól származó expozíció alacsonyabbnak bizonyult a GSM 900-hoz képest, ez jól tükrözi a két bázistípus gyakoriságát Magyarországon. A WiFi sávban megfigyelhető különbség volt az iskolai és az óvodai mikrokörnyezet között, és ez a különbség 2009 és 2010 között még élesebbé vált. Ha azonban szemügyre vesszük az adatsorban, hogy mennyi mért adat volt a detektálási határ felett, akkor ez az érték 10% alatti, így az ebből a sávból származó expozíciót elhanyagolhatónak tekinthetjük. Az ebben a frekvenciasávban lévő néhány 5-10 V/m mért érték a cselekménynaplók alapján a mikrohullámú sütőktől származik. A többi frekvenciasávról röviden azt mondhatjuk, hogy a TETRA, a TV-k és a 3G értékei 95%-ban a kimutatási határ alatt vannak, így elhanyagolhatónak tekinthetjük (Juhász et al. 2011).

A DECT sáv is elhanyagolhatónak bizonyul, hogyha csak a 2-es vagy afeletti kategóriába sorolt mért adatokat vesszük figyelembe. Azonban, hogyha megszüntetjük ezt a kritériumot, az túlbecsléshez vezet. Az FM sáv maximuma is 1 V/m alatt volt, míg a mért értékek 90%-a pedig 0,1 V/m alatti volt. A 3 telefonsáv hasonló eloszlást mutatott, tipikusan 10 V/m körüli értékek voltak (Juhász et al. 2011).

Ez a tanulmány bemutatott egy módszert arra, hogyan lehet a gyerekeket ért expozíciót becsülni, ha a célunk óvodások vagy iskolások expozíciójának mérése. Azonban számtalan bizonytalanság és zavaró tényező terheli a módszert, melyeket még át kell gondolni és tovább tökéletesíteni. Az emberi tényezők és a technikai korlátok is hozzájárulnak a problémákhoz. Ilyen problémának tekinthető például, hogy a mérőeszköz nem képes tökéletesen a frekvenciasávok szétválasztására, így előfordulhat, hogy egy mért értéket nem abba a sávba tesz bele, amibe tartozna, hanem valamelyik szomszédosba, ezzel hamis eredményt produkálva. Az EME SPY 121-es készüléknél például a DECT és GSM 1800-as sávnál lehet komoly átfedés, ahogy ezt már korábban említettem. Mivel a mérések nagyrészt benti körülmények között zajlanak, így valószínűsíthető, hogy a DECT, GSM 900 és GSM 1800 sávok szétválasztása nem lett tökéletes (Juhász et al. 2011).

A PEM-nek emellett létezik egy bizonyos anizotrópiája, ami a készülék helyzetétől függ, ez további bizonytalanságokat okozhat a mérésekben. A mért térerősség nagyban függhet a készülék pozíciójától, a különböző árnyékolási tényezőktől vagy a visszavert hullámokkal való interferenciától. Ezért szükségszerű, hogy a PEM használata a tanulmány alatt egy egységes protokoll szerint zajljön (Juhász et al. 2011).

A 0,05 V/m-es alsó méréshatár miatt fellépő problémákról már korábban írtam. Hogyha a középértéket vennénk a reprezentatív értéknek, azzal túlbecsülnénk a tényleges expozíció értékét, de a ROS algoritmus lehetőséget ad arra, hogy megfelelő becslést végezzük abban az esetben, amikor az adataink 90%-a a detektálási határ alatt van. A tanulmány során a legtöbb esetben ezt tapasztaltuk, de ezzel az algoritmussal megfelelő becslést adhattunk az expozíció mértékére (Juhász et al. 2011).

Amint már említettem korábban, komplikációkat okozhat még az adatok kinyerése is a cselekménynaplóból. Sok esetben a megadott információk nem korrektek, vagy hiányosak, pl. nem írják le szövegesen a végzett tevékenységet, a tevékenység idejét csak körülbelül adják meg, vagy éppen sok felesleges részletet írnak bele. Emiatt nehézséget okozott, azon adatok kiválogatása, melyek megfelelően tükrözhetik a gyerekeket ért expozíciót, és végül a leghasználhatóbb kategóriába az adatok kis része került csak be (265000-ből mindössze 4797). Egy kevésbé óvatos szelektálás viszont az adatok minőségének a romlásához vezetne, amit mindenképp célszerű elkerülni (Juhász et al. 2011).

Végül elérkeztünk az alapkérdéshez, hogy ezzel a módszerrel képesek vagyunk-e a gyerekeket ért expozíciót értékelni. Az elemzés azt mutatta, hogy a módszer nem szolgáltatott elég információt a gyerekeket ért expozícióról, mivel nem tudtuk mérni azokat az eseteket, amikor a gyerekek nincsenek óvodában/iskolában (pl. hétvége, iskola után, éjjel). De ettől függetlenül a meglévő időperiódusokat ki tudtuk értékelni és meg tudtuk becsülni az expozíciót. Az adatok azon része se haszontalan, amelyek hétvégén készültek, mivel ezeket is fel tudjuk használni a felnőtteket ért expozíció becsléséhez, de ehhez az adatokat újra kell analizálni (Juhász et al. 2011).

A kontrollesoporttal való összehasonlítás során azt mondhatjuk, hogy nincsen kiemelkedő különbség a két csoportot ért expozíció között. A kontrollesoport kicsit nagyobb mértékű expozíciót kapott a GSM 900, GSM 1800 és 3G sávoktól, míg a

DECT sávból kicsit kevesebbet, a tanárokhoz és óvónőkhöz képest. Az FM és WiFi sávokban nem volt különbség (Juhász et al. 2011).

Legnagyobb nehézség az adatok kategóriába sorolása volt megbízhatóság alapján, ez a folyamat könnyen okozhat a végeredményben alul- vagy felülbecslést egyaránt. Véleményünk szerint, egy szigorú kiválasztási és értékelési folyamat szükséges ahhoz, hogy a felnőttek által mért expozíciós adathalmaz releváns legyen a gyerekekre nézve (Juhász et al. 2011).

7.2. Bevezetés

A fent bemutatott hazai tanulmány során tanárokat és óvónőket ért expozíciót mérték; feltételezve, hogy ezek a mért eredmények vonatkoztathatóak lehetnek a gyerekekre. Ennek megfelelően kezdtem el méréseimet Budapesten a XVIII. kerületi Dráva utcai óvodában 2012 elején.

Az alanyok felkutatását szakdolgozóm közvetítésével oldottam meg. Ő közel tizenöt éve oktatja a néptáncot gyermekeknek, amihez elengedhetetlen a közvetlen és következetes hozzáállás, mind hozzájuk és szüleikhez. A benne való bizalom és pedagógiai tapasztalati háttér lehetővé tette, hogy valamelyest gördülékenyebben kezeljék felmérésünket, de azért akadtak problémák. Kezdve azzal, hogy maga a műszer és a tény, hogy sugárzást mér, általában elriasztja a felnőtteket. Noha az expoziméter nem sugároz és nem radioaktív sugárzásról van szó, általában első beszélgetések alkalmával kiderült, hogy ezt hitték a szülők, függetlenül a részletes és egyértelmű tájékoztatástól. Ezen akadályok áthidalása nem volt egyszerű feladat, még a fent említett előnyök ellenére sem.

7.3. Anyag és módszer

A mérések három hónapot vettek igénybe és ez alatt 25 párhuzamos mérés, összesen 50 adatsor készült. Az önkéntesen jelentkező szülők és óvónők 24 órás periódusban viselték a Satimo EME SPY 121 expozimétert egy övtáskában. A korábban kidolgozott protokollnak megfelelően a Perl[®]-alapú grafikus szoftvert használtam az adatok tárolására és feldolgozására, a statisztikai analízist pedig a Statistica[®] szoftverrel végeztem.

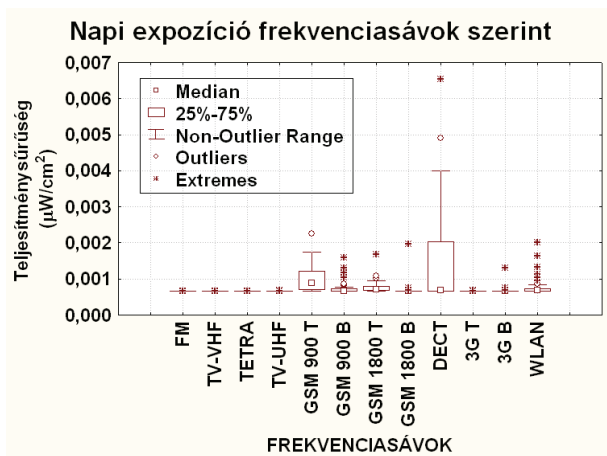
A párhuzamos mérések úgy zajlottak, hogy két műszert helyeztünk el egy adott óvodai csoportnál. Az egyik műszer konzekvensen mindig ugyanarra a helyre került

minden egyes nap, a másik műszert az óvónő viselte. Tehát volt egy statikusan elhelyezett és egy mozgó mérőrendszerem. A statikusan elhelyezett expozimétert az óvodai „munkaidő” alatt mindig a teremben tartottuk, majd az azt napra kiválasztott önkéntes szülő vitte haza, amikor jött gyermekéért. A mozgó, óvónő által viselt műszert pedig az óvónő vitte magával. A feltételezés az volt, hogy e kettő műszer által mért eredmény között szignifikáns eltérés nem lesz tapasztalható addig a pontig, amíg a két műszer kvázi ugyanazt méri, ugyanabban a teremben ugyanazon időpontig. Természetesen a mozgó mérőeszköz az óvodai idő alatt nem csak az adott teremben tartózkodott (udvar, konyha, mosdó). A 24 órás periódus gyakorta másnap reggel fejeződött be, így lehetőség volt ott helyben letölteni és újra konfigurálni a mérőműszereket, majd újraindítani. A statikusan elhelyezett műszert kontroll eszköznek tekintettem a mozgó óvónő által viselttel szemben. A 24 órás periódusidő alatt 8639 mérést végzett a műszer, 10 másodpercenkénti expozíciómentéssel.

A statisztikai protokollt annyiban egészítettem ki, hogy a két csoport közti különbségeket a független változókra vonatkozó Kruskal-Wallis teszttel vizsgáltam, azonban a páronkénti elemzéshez ismét a Friedman-próbát használtam.

7.4. Eredmények

Elsőként a napi expozíció frekvenciák szerinti vizsgálatát végeztem el, aminek statisztikai ábrázolása a 30. ábrán látható.

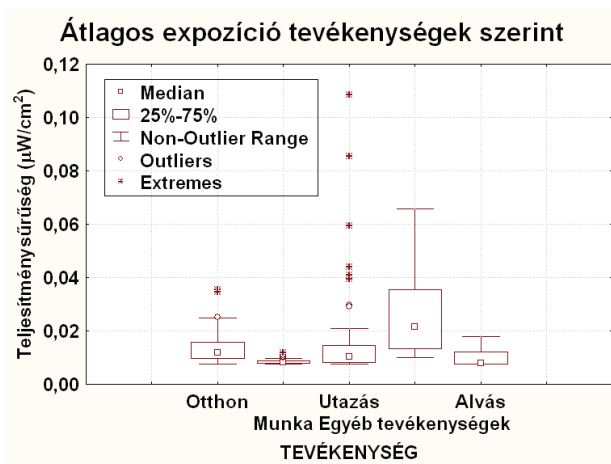


30. ábra: A napi teljesítménysűrűség eloszlása frekvenciák szerint

A frekvenciák összehasonlításához a Friedman ANOVA próbát alkalmaztam, mely szignifikanciát mutatott. Emiatt elvégeztem a post hoc tesztjét, a Fisher LSD tesztet, amely 900 MHz-es mobilok és az otthoni vezeték nélküli telefonok esetén adott kiugró eredményt (M24. ábra).

A Kruskal-Wallis próbát alkalmazva kiderült, hogy a DECT esetén az óvónők expozíciója szignifikánsan nagyobb, mint a szülőké, a 3G telefon és WLAN esetében viszont a szülők expozíciója jelentősebb (M25. ábra).

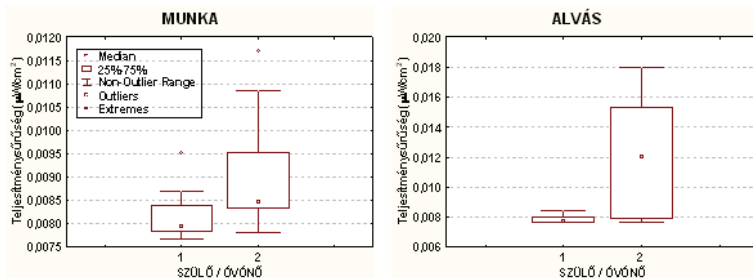
Következő lépésben a teljes expozíció tevékenységek szerinti eloszlását vizsgáltam meg (31. ábra).



31. ábra: A teljesítménysűrűség eloszlása tevékenységek szerint

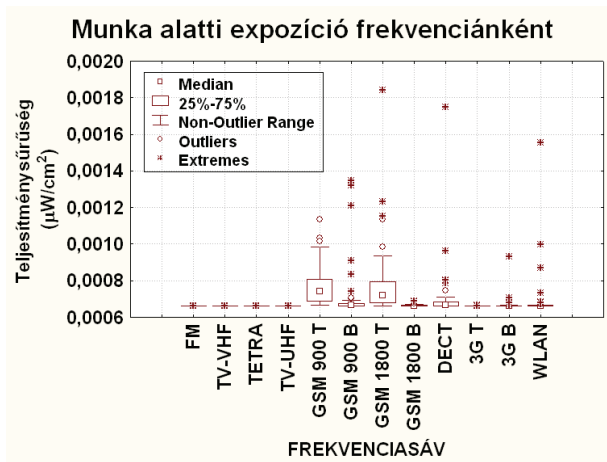
Miután a Friedman próba szignifikáns lett, az LSD teszt az egyéb tevékenységeket jelölte meg kiemelkedőként. A második legjelentősebb expozíciót szolgáltató tevékenység az utazás, ami a korábbi tanulmányok ismeretében nem meglepő (M26. ábra). Érdekes azonban, hogy a legkisebb expozíció nem az alváshoz, hanem a munkaidőhöz köthető.

A két csoport összehasonlításában az óvodai tartózkodás és az alvás ideje alatt mutatkozott különbség az óvónők javára (32. ábra).



32. ábra: Kruskal-Wallis tesztek eredményei tevékenységekre

A mikrokörnyezetes kísérlet szempontjából az óvodai tartózkodás lényeges, amely a Munka kategóriának felel meg. A munkaidő alatti expozíció részletes vizsgálata során kiderült, hogy négy sávtól származó expozíció volt jelentős, ezek a 900 és 1800 MHz-es mobiltelefonok, a 900 MHz-es bázisállomás és a DECT (M27. és 33. ábra).



33. ábra: A munkaidő alatti teljesítménysűrűség eloszlása frekvenciák szerint

Az alapfeltevésem tekintetében, azaz, hogy az óvodások expozícióját az óvónő, illetve az óvodai mikrokörnyezet segítségével becsüljük meg, a következő megállapításokra jutottam. A teljes expozíciót tekintve a Kruskal-Wallis teszt alapján az óvónők szignifikánsan nagyobb intenzitást mértek, mint a mikrokörnyezetben statikusan elhelyezett mérőműszer. A részletes frekvenciák szerinti analízisből kiderül, hogy a

különbség elsősorban a 900 MHz-es és 3G-s telefonok, valamint a WLAN sávjából adódik (M28. ábra).

Azonban a legérdekesebb eredmények a páronkénti összehasonlításból születtek. A két csoport közötti szignifikáns különbség nem csak úgy általában a sokaságra igaz, hanem az egyes csoportok tagjai között is következetesen fennáll a különbség. Azaz az óvónők expozíciója nem csak összességében nagyobb a mikrokörnyezeténél, hanem az egyes párhuzamos mérések közül az óvónőnél lévő műszer jellemzően nagyobb intenzitást mér, mint a hozzá tartozó statikus párja (M29. ábra). Meglepő módon azonban az eltérés itt elsősorban az 1800 MHz-es telefonokból adódik.

A korrelációt tekintve fölöttébb érdekes eredményeket kaptam. Azt tapasztaljuk, hogy erős negatív korreláció van a napi expozíció és az alvás között. Ezen kívül pedig a szokásos módon az alvás az otthontól függ legerősebben, de van még összefüggés az alvás és az utazás között is (M30. ábra). A frekvenciák tekintetében szintén negatív korreláció van a DECT és a teljes expozíció között. Legerősebben a bázisállomások függnek össze egymással, de ezek és a TV-rádió-TETRA adók sok mással is összefüggnek. Érdekes, hogy a GSM telefonok nem függnek össze szorosan egymással, de a 900 MHz-es telefon a DECT-tel igen. A WLAN a 3G telefonnal korrelál 0,5 fölötti mértékben. Azonban furcsa módon a 3G telefon jelentősen összefügg még a TV-rádió adókkal és a GSM 1800-as bázisállomásokkal. A méréseket párba állítva pedig az is kiderül, hogy az óvónők és a szülők mérései közötti korreláció napi szinten 0,44 és munkaidő alatt 0,59 (M30. ábra).

7.5. *Diskusszió*

A mérési eredményeket több szempont alapján lehet értékelni.

Az első dolog, hogy az összes expozíciós értéket össze kell vetni a jelenleg érvényes egészségügyi határértékekkel. Az összes érték közül a legmagasabbat egy szülő mérte utazás közben, ez $0,1085 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ volt, és a nagy része saját készülékhasználatából adódott. Ha ezt összevetjük a frekvenciafüggő határértékkel, akkor a 900 MHz-es frekvenciára vonatkozó érték $4,5 \text{ W}/\text{m}^2$, ami $450 \mu\text{W}/\text{cm}^2$. Látható, hogy ez több nagyságrenddel magasabb, tehát egészségi hatástól nem kell tartani.

A következő lépés a kapott eredményekből levonható következtetések összefoglalása. A frekvenciák szerinti összehasonlítás jól láthatóan igazolta, hogy a mobiltelefonok és a vezeték nélküli otthoni telefonok okozták a nap során a legnagyobb

expozíciót. Fontos hangsúlyozni, hogy ezek az eszközök elsősorban nem az óvodás gyermekek készülékei voltak, hanem a szülőké és az óvónőké. Különösen a DECT esetén igaz ez, ahol a dokumentációból is kiderül, hogy az egyik óvónőnek van otthon ilyen vezeték nélküli telefonja. Ezt a különbséget aztán a csoportonkénti összehasonlítás ki is hozta. A csoportok összehasonlításában ugyanakkor előtérbe kerül még a 3G-s telefon és a WLAN, ami pedig a szülőkre jellemző, és ez is szerepel a dokumentációban. Ezen a téren tehát nagyjából a várható eredményeket kaptam. Ez azért lényeges, mert a gyerekek SAR-bebecslésének szempontjából ezek ugyanúgy távoli forrásnak minősülnek, mint a bázisállomások.

A tevékenységek szerinti összehasonlítás némi meglepetést hozott, mivel általában az utazás szokott a legmagasabb, és az alvás a legalacsonyabb expozícióval járni (Thuróczy et al. 2008). Ehhez képest itt az egyéb tevékenységek legkiemelkedőbbek. Ahogy már említettem, ezzel a kategóriával az a probléma, hogy nehezen megfogható, hiszen ide sorolunk minden olyan tevékenységet, amely nem tartozik az első négy kategóriába. Azonban éppen emiatt a statisztikai elemzés szempontjából nem szerencsés kategória. Az alvás alatti expozíciót valószínűleg szintén az óvónő DECT telefonból származó expozíciója emeli meg, amit a csoportonkénti összehasonlítás is alátámaszt. A két csoport teljes expozíciója különbséget mutat munkaidő alatt, amit mindenképpen érdemes tovább elemezni.

A munkaidő itt az óvodai tartózkodást jelenti, tehát a szülő esetében nem az ő munkahelyét, hanem azt az időt, amíg nem ment a gyermekéért az óvodába, amit másképpen mikrokörnyezetnek is nevezek. Itt a mobiltelefonok és a bázisállomások jelei voltak jelentősen magasabbak a többinél. Illetve a teszt kihozta még a DECT-et is, azonban ahogy korábban utaltam rá, a mérőműszer egyik hiányossága, hogy az egymáshoz frekvenciában igen közel lévő 1800-as bázisállomást és a DECT-et nem mindig tudja jól elválasztani. A két csoport, illetve itt már a mozgó és álló műszer összehasonlításában kiderült, hogy az óvónőnél lévő mozgó műszer szignifikánsan nagyobb expozíciót mér, és ez elsősorban a 900 MHz-es és 3G-s telefonok, valamint a WLAN sávján jelentős. Az óvodában a WLAN sávban elsődlegesen a mikrohullámú sütő sugárzását mérjük, tehát itt nem a WiFi-re kell gondolni. Vagyis elég egyértelmű, hogy az óvónőnél lévő műszer éppen a saját készülékhasználatával mér több expozíciót a statikusan elhelyezett műszernél.

A mérési módszerem lehetőséget biztosított arra is, hogy az egyes mérési párokat összehasonlítsam. A páronkénti elemzésből kiderül, hogy a mozgó műszer nem csak úgy általában mér nagyobb expozíciót a statikusnál, hanem következetesen minden mozgó eredményei magasabbak a hozzá tartozó állónál. Ez az effektus legjobban az 1800 MHz-es telefonoknál jelentkezik, ami szintén alátámasztja, hogy a különbséget a közeli források adják.

A korrelációt tekintve azt tapasztaljuk, hogy erős negatív korreláció van a napi expozíció és az alvás között. Ez egyáltalán nem magyarázható meg ésszerűen, sőt általában itt nem értelmezhető a negatív korreláció, hiszen a napi expozíciónak része az alvás. Ezen kívül egyébként a szokásos módon az alvás az otthonról függ legerősebben, de van még összefüggés az alvás és az utazás között is, ami szintén elég nehezen magyarázható. Leginkább az lehet az oka, hogy a felmérésben résztvevők az óvoda közelében laktak és gyakran gyalog vagy biciklivel jártak haza. Ezért az utazás szinte ugyanabban a környezetben történt, mint az alvás, de ez így is kissé sántít.

A frekvenciák tekintetében szintén negatív korreláció van a DECT és a teljes expozíció között, amire megint nem igazán lehet ésszerű magyarázatot találni, hiszen a teljes expozíció tartalmazza a DECT-et. Legerősebben egyébként a bázisállomások értékei függenek össze egymással, de ezek, valamint a TV-rádió-TETRA adók egymással és sok mással is összefüggnek. Érdekes, hogy a GSM telefonok nem függenek össze szorosan egymással, de a 900 MHz-es telefon a DECT-tel igen. Ez azonban lehet a korábban már említett sávok közti áthallás miatt is. A WLAN a 3G telefonnal korrelál 0,5 fölötti mértékben, ami egyértelműen az okostelefonok használatából adódhat. Azonban furcsa módon a 3G telefon jelentősen összefügg még a TV-rádió adókkal és a GSM 1800-as bázisállomásokkal, ami szintén eléggé rejtélyes.

A méréseket párba állítva pedig az is kiderül, hogy az óvónők és a szülők mérései közötti korreláció napi szinten 0,44 és munkaidő alatt 0,59. Ezek szerint a fixen elhelyezett műszer mérése kb. 60%-os egyezést mutat a hordottal szemben adott mikrokörnyezetben. Ez fontos eredmény, ebből is látható, hogy mennyire lényeges, hogy az alanyok vigyék magukkal mindenhol a műszert a mérés során.

A diszkusszió következő szempontja a módszertan átgondolása. A feldolgozott módszertani tanulmányok és kutatások alapján kerestem meg a legmegfelelőbb felmérési szisztematikát, melyet óvodás korú gyermekekre alkalmazni tudok az elektromágneses sugárzások mérése során. Azonban számtalan bizonytalanság és

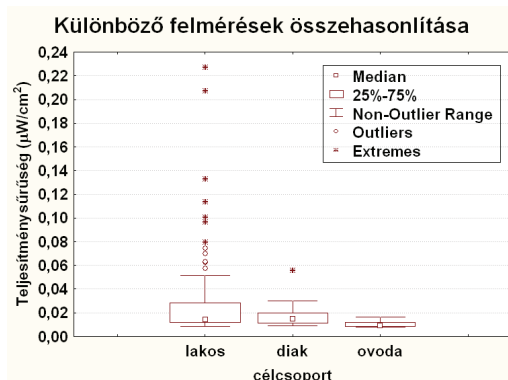
zavaró tényező terheli saját módszeremet is. Ezeket még át kell gondolni, és tovább tökéletesíteni az elkövetkezendő kutatásokhoz.

Másik számottevő probléma az emberi tényezőkből fakadt, hisz ha pontosan szeretnénk megbecsülni a gyerekeket ért expozíciót, a cselekménynapló bejegyzéseit körültekintően szükségeszerű felülvizsgálni. Tudnunk kell biztonsággal kijelenteni egy adott tevékenység esetében, hogy az önkéntes –ebben az esetben az óvónő, illetve a szülő– ténylegesen a gyerek közelében tartózkodott-e. Ezért pontosabb vizsgálatok céljára esetleg hasznosabb a tevékenységi kategóriákat máshogy meghatározni, például a gyerekhez képesti távolság függvényében átdolgozni (Juhász et al. 2011).

Összességében tehát érdemes lehet későbbi vizsgálatokat kezdeményezni, melyekben a módszertan különböző elemeinek (mérési protokoll, adminisztrációs irányelvek, feldolgozási és kiértékelési folyamat) változtatásával lehet tökéletesíteni az expozíció-becslést. Végeredményben kijelenthetjük, hogy egy ilyen és ehhez hasonló felmérés szükséges feltétele egy szigorú kiválasztási és értékelési rendszer kidolgozása ahhoz, hogy felnőttek által mért expozíciós adathalmaz releváns legyen a gyerekekre nézve (Juhász et al. 2011).

Ebből a felmérésből kiderült, hogy a gyerekek expozíciójának becslése egyszerű módon csak az óvodán belül oldható meg. Itt azonban kérdéses, hogy elegendő-e egy statikus mikrokörnyezeti mérés, vagy mindenképpen szükséges az óvónő bevonása. Az eredményeimből látszik, hogy a gyerekek napjának expozíció szempontjából elenyésző része az óvodai tartózkodás. Ugyanakkor az óvodai tartózkodás alatti expozíciót tekintve úgy gondolom, hogy a mozgó műszer felül-, a statikus műszer pedig alulbecsüli a gyermekeket ért sugárzás mértékét. Hiszen igazi különbség csak a pedagógus saját készülékhasználatában van, ami viszont a távolság miatt bizonyára nagyobb sugárzást jelent számára, mint a körülötte lévő gyerekekre nézve. A későbbiek során egyébként ezen az alapon megfontolandó lehet korlátozni az óvónők munkaidő alatti készülékhasználatát, azonban egyelőre erre a biológiai kutatások alapján nincs ok.

Végül végeztem egy érdekes összehasonlítást a három felmérés célcsoportjai között is. Egy jellemző összehasonlító ábra megvilágítja az alapvető különbséget a diákok, a lakosság és az óvodai mérésben részt vevő óvónők és szülők között (34. ábra).



34. ábra: Különböző felmérési csoportok összehasonlítása

Alapvetően a mediánban és az expozíció nagyságrendjében nincs nagy különbség, azonban a doboz szélessége és az extrém értékek mennyisége jól mutatja, hogy a lakosság sokkal vegyesebb összetételű minta, a diákok és főleg az óvodások lényegesen homogénebb csoportot alkotnak. Az alábbi összehasonlításból pedig kiderül az is, hogy átlagosan az óvodások expozíciója jelentősen kisebb, mint a diákokat és a lakosságot érő sugárzás.

Multiple Comparisons p values (2-tail Kruskal-Wallis test H (2, N= 224) =57,88189 p =,0000			
célcsoport	lakos R:132,55	diák R:126,47	ovoda R:51,240
lakos		1,000000	0,000000
diák	1,000000		0,000000
ovoda	0,000000	0,000000	

35. ábra: Különböző felmérési csoportok összehasonlítása – Kruskal-Wallis teszt

8. Összefoglalás

Az elmúlt évtizedekben mind tudományos körökben, mind a társadalom széles rétegeiben különösen megnőtt az érdeklődés a rádiófrekvenciás és mikrohullámú (RF-MH) elektromágneses sugárzások (EMF) iránt. Ez nem véletlen, hiszen ugrásszerűen megnőtt azoknak az alkalmazásoknak és eszközöknek a használata, amelyeknek működése ilyen sugárzás kibocsátásával jár együtt. Ugyanakkor a természetes külső háttérsugárzás alacsony mivolta miatt nem lehet tudni pontosan, hogy milyen egészségügyi következményekkel járhat ez az emberre nézve.

Az expozimetriára vonatkozó kutatások a téma elvi és módszertani nehézségei, valamint sokrétősége miatt csak az elmúlt évtizedben indultak meg. A különböző erre irányuló vizsgálatokat értékelve azonban biztosat még egyelőre nem lehet kijelenteni, ugyanis nem telt el elegendő idő a tömeges használatban. Mindazonáltal közvetett és statisztikai bizonyítékok alapján 2011. május 31-én a Nemzetközi Rákkutató Ügynökség (IARC) a rádiófrekvenciás sugárzást besorolta a lehetséges emberi rákkeltő (2B) kategóriába a gliómára nézve.

Ezáltal még egyértelműbbé vált a nagyszabású epidemiológiai tanulmányok fontossága, valamint hogy feltétlenül szükséges tudnunk az egyént érő külső expozíció mértékét. Így nem kell külön magyarázni az expozimetria létjogosultságát és az expozimetriai felmérések indokoltságát.

A dolgozatban leírtam az expozimetria fizikai háttere mellett az expozíció lehetséges biológiai hatásainak áttekintését, illetve az erre épülő jogi szabályozást. Az expozimetria módszertani összefoglalása után pedig bemutattam az eddig elvégzett három felmérésemet.

a) Saját, új tudományos eredményeim között **kifejtettem egy mérési, feldolgozási és kiértékelési eljárást a személyi expozimetria terén**, melyet három különböző felmérésben sikerrel alkalmaztam. Munkám során számos tényszerű és módszertani jelentőségű eredményem született.

b) **Megállapítottam, hogy az általam vizsgált egyetemi hallgatókat utazás alatt éri a legnagyobb sugárzás, és alvás alatt a legkisebb, lakóhelytől függetlenül.** Az expozíció nagy része a GSM 900 MHz-es telefonokból, bázisállomásokból és az FM sávból adódik, ellenben a TV-VHF, TETRA és 3G mobilok elhanyagolható mértékű expozícióval járnak számukra. Módszertani szempontból pedig rendkívül lényeges eredménynek tartom a műszerek gyakorlatban való összehasonlítását, és a felmérési protokoll kialakítását.

c) **Vizsgálataimból kiderült, hogy a budapesti bázisállomások közelében élők esetében egyik tevékenység sem jelent számottevően nagyobb sugárterhelést, és az expozíció jelentős része a bázisállomásoktól és átjátszó-adóktól származik.** Lényeges megállapítás, hogy a lakosság körében jelenlévő és terjedő tévhitekkel ellentétben, de az elméleti fizikai tudásunknak megfelelően, a legnagyobb expozíció a bázisállomástól 20-50 méteres körzetben, azaz a bázisállomással ellátott épület szomszédságában éri a lakókat. Azonban fontos megjegyezni, hogy minden felmérésben

minden érték jelentősen alatta maradt az egészségügyi határértékeknek. Ezen kívül a fent említett terheltebb körzetben élők átlagos expozíciója se haladta meg jelentősen a diákokét, ráadásul a bázisállomásoktól származó összesített teljesítménysűrűség összemérhető volt a telefonokon kívüli összes egyéb forrás összesített teljesítménysűrűségénél.

d) Kutatásaim rámutattak arra is, hogy az óvodai környezet kisebb expozícióval jár a többinél, valószínűleg azért, mert egy rendelet értelmében nem lehet az óvoda 200 méteres környezetében bázisállomás. Ez esetben tehát főleg az óvónők és a szülők (esetleg a gyerekek) készülékhasználata határozza meg az expozíciót. Módszertanilag fontos eredményem, hogy lehetséges mikrokörnyezetes méréssel helyettesíteni a személyi mérést, amennyiben megfelelően tudjuk becsülni a saját készülékektől származó expozíciót.

e) Bizom benne, hogy az értekezésem hasznos alapművé válhat ezen a területen. Az egyetemen tervezek elindítani egy speciális kurzust is ebben a témában, melyre bármely szakról jelentkezhetnek hallgatók. Folytatom az ismeretterjesztést magyar nyelvű folyóiratokon, konferenciákon és egyéb rendezvényeken keresztül is.

f) Összefoglalva véleményem szerint a rádiófrekvenciás sugárzások vizsgálata jelenleg az egyik legfontosabb környezeti probléma, és feltétlenül szükséges az expozíciómérés és az epidemiológiai tanulmányok készítése. Kutatásaim jelentősen előmozdították a téma magyarországi kiépülését, és reményeim szerint nemzetközi szinten is hasznosnak találja a szakma.

9. Summary

By the spreading of the wireless technology, the radiation levels and the exposure of the general public are getting higher and higher. Meanwhile we do not have precise knowledge about the health effects of these irradiations, so it is clear that thorough epidemiological studies are needed. The aim of the exposimetry is to assist these surveys with measurements.

1. I proposed a procedure for defining personal RF exposure levels by using personal RF exposimeters combining the measurements with monitoring the activities. I tested the instruments and developed an effective administration method for the measurements. Additionally, I tested the software developed by a colleague of NIRR for data processing. Moreover, I elaborated a detailed procedure for statistical analysis.

2. Between September 2007 and June 2010, 100 measurements were performed with the help of 90 University students monitoring their exposure.

3. These data got into an international comparison survey and a study which assessed SAR.

4. In 2010 summer a survey was made among the residents who lived around mobile phone base stations. We aimed to find a relationship between the distance from base stations and daily exposure of a person. Altogether 104 measurements were taken near 6 base stations in this survey.

5. In 2009 and 2010, 31 elementary school teachers, 50 employees of kindergartens and day nurseries and 51 office workers were measured. In 2009 three districts of Budapest, in 2010 four big cities of Hungary were examined. The main aim of this study was to assess the RF exposure of children.

In 2012, for our next study we selected volunteers from one of two groups: employees of kindergartens ($n=25$) and parents ($n=25$). The aim was the same: to approximate the exposure of children.

Hopefully, these projects could also provide likely basis of systematic epidemiological studies.

Köszönetnyilvánítás

Köszönöm mindenekelött **Istennek**, a képességeimet és körülményeimet, valamint hogy eljuthattam idáig.

Köszönöm elsősorban témavezetőmnek, **Dr. Kiss Ádám Professzor úrnak**, aki a kezdetektől támogatott és biztatott, rengeteget segített, mindig megértő volt és a nehéz időkben is mellettem állt.

Köszönöm **Dr. Thuróczy Györgynek**, akinek a segítségével nélkül nem jöhetett volna létre ez a munka, sőt maga az egész kutatás sem.

Köszönöm az **OSSKI Nem-ionizáló Sugárzások Főosztálya** minden dolgozójának, különösképpen pedig **Juhász Péternek** a sok technikai segítségért.

Köszönettel tartozom az **ELTE Atomfizikai Tanszék** minden dolgozójának, kollégáimnak, különösen **Dr. Horváth Ákosnak**, **Dr. Veres Gábornak**, **Csorba Ottónak**, **Pávó Gyulának**, **Dr. Martinás Katalinnak**, **Dr. Csanád Máténak**, **Dr. Patkós Andrásnak**, **Dr. Frei Zsolt**nak, és végül, de nem utolsósorban **Förhéczné Marján Andreának** a folyamatos elvi és gyakorlati támogatásukért.

Köszönet illeti munkájáért az **összes szakdolgozómat**, aki ebben a témában végezte diplomamunkáját, név szerint **Sárközi Editet**, **Szolnoki Mónikát**, **Eröss Attilát**, **Gresa Lászlót**, **Koltay Esztert**, **Podhorszki Évát**, **Váradai Leventét** és **Fülöp Pétert**.

Köszönöm férjemnek, **Bánrévi Péternek**, és nevelt gyermekeimnek, **Arnoldnak** és **Péternek**, valamint **Koller Rebekának** és **Bognár Jennyfernek** a biztatásukat, szeretetüket, türelmüket és megértésüket.

Köszönöm a munka alatt elhunyt nagyszüleimnek, **Kocsis Istvánnának**, **Gaálné Elek Ilonának** és **Finta Istvánnak**; szüleimnek, **Kocsis Tündének**, **Finta Istvánnak** és **Finta Istvánnak**; valamint testvéreimnek, **Krisztinának** és **Fabriziónak**, továbbá minden rokonomnak; barátaimnak, de különösképpen **Kokol Juditnak**, **Puska Ágnesnek**, **Farkas Izabellának**, **Billo Naoelle-nek**, **Rostás Norbertnek**, **Göröcs (Bábszky) Andreának**, **Angyal Zsuzsannának**, **Török Timeának** és **Eisenberger Valériának**, hogy mindig mellettem álltak, szerettek, biztattak és ha kellett, tevőlegesen segítették munkámat.

Köszönöm a **Fasori Református Gyülekezet összes tagjának, és különösen Végh Tamás és Somogyi Péter lelkipásztoroknak** a lelki támogatást és szeretetet.

Köszönetet mondok továbbá **orvosaimnak**, különösen **dr. Baronai Annának, dr. Szabó Zsuzsannának, dr. Vászár Melindának, Dr. Kovács Ágnesnek, dr. Alföldi Ibolyának, dr. Tolnay Lajosnak és dr. Glöckner Berenikének**, akik ez alatt a 8 év alatt lelkiismeretesen próbáltak segíteni egészségi problémáim megoldásában, és igyekeztek egészségi állapotomat a megfelelő szintre hozni és ott tartani, ezzel elősegítve a munkavégzésemet.

Köszönöm **tanáraimnak**, kiemelten **Kocsmár Sándornénak, Kecskeméthy Józsefnek, Tófalviné Mógor Ilonának, Ferenczfi Magdolnának, Annár Gyulának, Dr. Tasnádi Péternek, valamint Annárné Fischer Annának, Seress Krisztinának és Kollár Beatrixnek**, hogy példaképek voltak, megalapozták és csiszolták tudásomat, megtanítottak a tudomány és tanulás szeretetére, biztattak és támogattak a megfelelő szakaszokban.

Külön köszönet illeti **Dr. Fröhlich Georginát** a dolgozat elkészítésében való speciális segítségéért és folyamatos biztatásáért.

Végül, de nem utolsó sorban, köszönöm **az összes mérési alanynak**, hogy részt vett a kutatásban.

Irodalomjegyzék

Ait-Aïssa S, Billaudel B, Poullétier De Gannes F, Hurtier A, Haro E, Taxile M, Ruffie G, Athane A, Veyret B, Lagroye I (2010). In situ detection of gliosis and apoptosis in the brains of youngrats exposed in utero to a Wi-Fi signal. *Comptes Rendus Physique* 11(9–10): 592–601

Avendaño C, Mata A, Sanchez Sarmiento CA, Doncel GF (2012). Use of laptop computers connected to internet through Wi-Fi decreases human sperm motility and increases sperm DNA fragmentation. *Fertility and Sterility* 97(1): 39–45

Baste V, Moen BE, Ofteidal G, Strand LA, Bjørge L, Mild KH (2012). Pregnancy outcomes after paternal radiofrequency field exposure aboard fast patrol boats. *Journal of Occupational Environmental Medicine* 54(4): 431–438

Bolte JFB, van der Zande G, Kamer J (2010). Calibration and Uncertainties in Personal Exposure Measurements of Radiofrequency Electromagnetic Fields. *Bioelectromagnetics* 32(8): 652–663

Bürgi A, Theis G, Siegenthaler A, Rösli M (2010a). Exposure modeling of high-frequency electromagnetic fields. *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology* 18(2): 183–191

Bürgi A, Frei P, Theis G, Mohler E, Fahrlander C, Fröhlich J, Neubauer G, Egger M, Rösli M (2010b). A model for radiofrequency electromagnetic field predictions at outdoor and indoor locations in the context of epidemiological research. *Bioelectromagnetics* 31: 226–236

Cardis E, Deltour I, Vrijheid M, Evrard S, Moissonnier M, Armstrong B, Brown J, Giles G, Siemiatycki J, Nadon L, Parent E, Krewski D, McBride M, Johansen C, Christensen C, Auvinen A, Kurtio P, Lahkola A, Salminen T, Hours M, Bernard M, Montestrucq L, Schuez J, Blettner M, Berg-Beckhoff G, Schlehofer B, Sadetzki S, Chetrit A, Jarus-Hakak A, Lagorio S, Iavarone I, Takebayashi T, Yamaguchi N, Woodward A, Cook A, Pearce N, Tynes T, Klæboe L, Blaasaas KG, Feychting M, Lonn S, Ahlbom A, McKinney PA, Hepworth SJ, Muir KR, Swerdlow AJ, Schoemaker

- MJ (2011). Acoustic neuroma risk in relation to mobile telephone use: Results of the INTERPHONE international case-control study. *Cancer Epidemiology* 35(5): 453-464
- Céspedes O, Inomoto O, Kai S, Nibu Y, Yamaguchi T, Sakamoto N, Akune T, Inoue M, Kiss T, Ueno S (2010). Radio frequency magnetic field effects on molecular dynamics and iron uptake in cage proteins. *Bioelectromagnetics* 31: 311-317
- Christ A, Gosselin M, Kühn S, Kuster N (2010). Impact of pinna compression on the RF absorption in the heads of adult and juvenile cell phone users. *Bioelectromagnetics* 31: 406-412
- Croft R, Leung S, McKenzie R, Loughran S, Iskra S, Hamblin D, Cooper N (2010). Effects of 2G and 3G mobile phones on human alpha rhythms: resting EEG in adolescents, young adults, and the elderly. *Bioelectromagnetics* 31: 434-444
- Deltour I, Johansen C, Auvinen A, Feychting M, Kjaerboe L, Schüz J (2009). Time Trends in Brain Tumor Incidence Rates in Denmark, Finland, Norway, and Sweden, 1974–2003. *Journal of National Cancer Institute* 101(24): 1721-1724
- Frei P, Mohler E, Neubauer G, Theis G, Bürgi A, Fröhlich J, Braun-Fahrlander C, Bolte J, Egger M, Rössli M (2009a). Temporal and spatial variability of personal exposure to radio frequency electromagnetic fields. *Environmental Research* 109(6): 779-785
- Frei P, Mohler E, Bürgi A, Fröhlich J, Neubauer G, Braun-Fahrlander C, Rössli M, QUALIFEX Team (2009b). A prediction model for personal radio frequency electromagnetic field exposure. *Science of the Total Environment* 408(1): 102-108
- Frei P, Mohler E, Bürgi A, Fröhlich J, Neubauer G, Braun-Fahrlander C, Rössli M, The QUALIFEX Team (2010). Classification of personal exposure to radio frequency electromagnetic fields (RF-EMF) for epidemiological research: Evaluation of different exposure assessment methods. *Environment International* 36(7): 714–720
- Frei P, Mohler E, Braun-Fahrlander C, Fröhlich J, Neubauer G, Rössli M, QUALIFEX Team (2012). Cohort study on the effects of everyday life radio frequency electromagnetic field exposure on non-specific symptoms and tinnitus. *Environment International* 38(1): 29-36

Galvács L (2004). Mobilex. <http://hirek.prim.hu/cikk/42415/>

Godó Z, Kocsis D, Révész Cs (2011). Az elektroszmog élettani következményei I-II. *Villanyszerelők Lapja* 2011/3-4.

Hargitai H (2004). A műsorszóró technológia történeti fejlődése. <http://eper.elte.hu>

Hebling J, Almási G (2005). Képkotás és spektroszkópia THz-es sugárzással: a csillagászáttól az orvosi alkalmazásokig. *Magyar Tudomány* 2005/12: 1483-1488

Heinrich S, Thomas S, Heumann C, von Kries R, Radon K (2009). Association between exposure to radiofrequency electromagnetic fields assessed by dosimetry and acute symptoms in children and adolescents: a population based cross-sectional study. *Environmental Health* 9: 75

Heinrich S, Thomas S, Heumann C, von Kries R, Radon K (2011). The impact of exposure to radio frequency electromagnetic fields on chronic well-being in young people — A cross-sectional study based on personal dosimetry. *Environment International* 37(1): 26–30

ICNIRP (1998). Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz). *Health Physics* 74 (4): 494-522

Joseph W, Vermeeren G, Verloock L, Heredia MM (2008). Characterisation of personal RF electromagnetic field exposure and actual absorption for the general public. *Health Physics* 95(3): 317–330

Joseph W, Vermeeren G, Verloock L, Martens L (2009). Estimation of whole-body SAR from electromagnetic fields using personal exposure meters. *Bioelectromagnetics* 31: 286-295

Joseph W, Verloock L, Tanghe E, Martens L (2009). In-situ measurement procedures for temporal RF electromagnetic field exposure of the general public. *Health Physics* 96(5): 529-542

Joseph W, Verloock L, Goeminne F, Vermeeren G, Martens L (2010a). Assessment of general public exposure to LTE and RF sources present in an urban environment. *Bioelectromagnetics* 31: 576-579

Joseph W, Verloock L (2010b). Influence of mobile phone traffic on base station exposure of the general public. *Health Physics* 99(5): 631-638

Joseph W, Frei P, Rösli M, Thuróczy G, Gajsek P, Trcek T, Bolte J, Vermeeren G, Mohler E, Juhász P, Finta V, Martens L (2010c). Comparison of personal radio frequency electromagnetic field exposure in different urban areas across Europe. *Environmental Research* 110(7): 658–663

Joseph W, Frei P, Rösli M, Vermeeren G, Bolte J, Thuróczy G, Gajsek P, Trcek T, Mohler E, Juhász P, Finta V, Martens L (2012). Between-Country Comparison of Whole-Body SAR From Personal Exposure Data in Urban Areas. *Bioelectromagnetics* June 2012 online

Juhász P, Gál P, Thuróczy Gy (2009). Laboratory performance testing of personal RF exposimetry devices. *BEM2009 poster P-178*

Juhász P, Bakos J, Nagy N, Jánossy G, Finta V, Thuróczy Gy (2011). RF Personal Exposimetry on Employees of Elementary Schools, Kindergartens and Day Nurseries as a Proxy for Child Exposures. *Progress in Biophysics and Molecular Biology* 107(3): 449–455

Kühnlein A, Heumann C, Thomas S, Heinrich S, Radon K (2009). Personal exposure to mobile communication networks and well-being in children – A statistical analysis based on a functional approach. *Bioelectromagnetics* 30(4): 261–269

Lauer O, Leidenberger P, Muri M, Fröhlich J (2011). A System Concept for Novel Band-Selective Personal Exposure Assessment. *10th EBEA Conference*

Lee H, Pack J, Kim T, Kim N, Choi S, Lee J, Kim S, Lee Y (2010). The lack of histological changes of CDMA cellular phone-based radio frequency on rat testis. *Bioelectromagnetics* 31: 528-534

Lehmann H, Biner J, Eicher B, Fritschi P, Hermann U, Knafl U, Rubin M (2006). Benchmarking Personal Radiofrequency Exposimeters. *International Conference and COST 281 Workshop on Emerging EMF Technologies*

Ma Q, Du L, Cui Y, Sun R, Pan X, Do B, Su Z, Zhou H, Mao J (2010). Effects of chronic microwave irradiation on rat peripheral T and B lymphocytes. *BEMS 32nd Annual Meeting Abstract Book*: 45-46

Neubauer G, Cecil S, Giczi W, Petric B, Preiner P, Fröhlich J, Rösli M (2010). The association between exposure determined by radiofrequency personal exposimeters and human exposure: A simulation study. *Bioelectromagnetics* 31: 535-545

Repacholi MH, Lerchl A, Rösli M, Sienkiewicz Z, Auvinen A, Breckenkamp J, d'Inzeo G, Elliott P, Frei P, Heinrich S, Lagroye I, Lahkola A, McCormick DL, Thomas S, Vecchia P (2012). Systematic review of wireless phone use and brain cancer and other head tumors. *Bioelectromagnetics* 33(3): 187-206

Rösli M, Frei P, Mohler E, Braun-Fahrlander C, Bürgi A, Fröhlich J, Neubauer G, Theis G, Egger M (2008). Statistical analysis of personal radiofrequency electromagnetic field measurements with nondetects. *Bioelectromagnetics* 29: 471-478

Rösli M, Frei P, Bolte J, Neubauer G, Cardis E, Feychting M, Gajsek P, Heinrich S, Joseph W, Mann S, Martens L, Mohler E, Parslow RC, Poulsen AH, Radon K, Schuz J, Thuróczy G, Viel JF, Vrijheid M (2010). Conduct of a personal radiofrequency electromagnetic field measurement study: Proposed study protocol. *Environmental Health* 9(1): 23

Rubin GJ, Nieto-Hernandez R, Wessely S (2010). Idiopathic Environmental Intolerance Attributed to Electromagnetic Fields (Formerly 'Electromagnetic Hypersensitivity'): Provocation Studies. *Bioelectromagnetics*, 31: 1-11

Sambucci M, Laudisi F, Nasta F, Pinto R, Lodato R, Altavista P, Lovisolo GA, Marino C, Pioli C (2010). Prenatal Exposure to Non-ionizing Radiation: Effects of WiFi Signals on Pregnancy Outcome, Peripheral B-Cell Compartment and Antibody Production. *Radiation Research* 174(6): 732-740

Scarfè M, Sannino A, Zeni O, Sarti M, Vijayalaxmi V, Romeo S, Belisario M (2010). Characterization of radiofrequency radiation-induced adaptive response in human peripheral blood lymphocytes. *BEMS 32nd Annual Meeting Abstract Book*: 186-187

Schmid MR, Murbach M, Lustenberger C, Maire M, Kuster N, Achermann P, Loughran SP (2012). Sleep EEG alterations: effects of pulsed magnetic fields versus pulse-modulated radio frequency electromagnetic fields. *Journal of Sleep Research online*

Strayer DL, Drews FA, Crouch DJ (2006). A comparison of the cell phone driver and the drunk driver. *Human Factors* 48: 381-391

Szabó DL (2006). Gondolatok a mobiltelefon-használat egészségügyi aspektusairól. *Orvostovábbképző Szemle* 13: 14-18

Thomas S, Kühnlein A, Heinrich S, Praml G, Nowak D, von Kries R, Radon K (2008a). Personal exposure to mobile phone frequencies and well-being in adults: A cross-sectional study based on dosimetry. *Bioelectromagnetics* 29(6): 463-470

Thomas S, Kühnlein A, Heinrich S, Praml G, von Kries R, Radon K (2008b). Exposure to mobile telecommunication networks assessed using personal dosimetry and well-being in children and adolescents: the German MobilEe-study. *Environmental Health* 7: 54

Thomas S, Heinrich S, Kühnlein A, Radon K (2010a). The association between socioeconomic status and exposure to mobile telecommunication networks in children and adolescents. *Bioelectromagnetics* 31(1): 20-27

Thomas S, Heinrich S, von Kries R, Radon K (2010b). Exposure to radio-frequency electromagnetic fields and behavioural problems in Bavarian children and adolescents. *European Journal of Epidemiology* 25(2): 135-141

Thomas S, Benke G, Dimitriadis C, Inyang I, Sim MR, Wolfe R, Croft RJ, Abramson MJ (2010c). Use of mobile phones and changes in cognitive function in adolescents. *Occupational&Environmental Medicine* 67: 861-866

Thuróczy Gy (2002a). Nem-ionizáló elektromágneses sugárzások (Sugáregészségtan). *Medicina Könyvkiadó* 299-323

Thuróczy Gy (2002b). A rádiófrekvenciás sugárzások egészségügyi kérdései. *Magyar Tudomány* 47: 1010-1025

Thuróczy Gy, Molnár F, Jánossy G, Nagy N, Kubinyi Gy, Bakos J, Szabó J (2008). Personal RF Exposimetry in Urban Area. *Annals Telecommunication* 63: 87-96

Tomitsch J, Dechant E, Frank W (2010). Survey of electromagnetic field exposure in bedrooms of residences in lower austria. *Bioelectromagnetics* 31: 200-208

Trunk A, Stefanics G, Zentai N, Kovács-Bálint Zs, Thuróczy Gy, Hernádi I (2012). No effects of a single 3G UMTS mobile phone exposure on spontaneous EEG activity, ERP correlates, and automatic deviance detection. *Bioelectromagnetics online*

Verloock L, Joseph W, Vermeeren G, Martens L (2010). Procedure for assessment of general public exposure from WLAN in offices and in wireless sensor network testbed. *Health Physics* 98(4): 628-638

Viel JF, Clerc S, Barrera C, Rymzhanova R, Moissonnier M, Hours M, Cardis E (2008). Residential exposure to radiofrequency fields from mobile phone base stations and broadcast transmitters: A population-based survey with personal meter. *Occupational Environmental Medicine* 66: 550-556

Viel JF, Cardis E, Moissonnier M, de Seze R, Hours M (2009). Radiofrequency exposure in the French general population: Band, time, location and activity variability. *Environment International* 35(8): 1150-1154

Viel JF, Tiv M, Moissonnier M, Cardis E, Hours M (2011). Variability of radiofrequency exposure across days of the week: A population-based study. *Environmental Research* 111(4): 510-513

Voszka I (2007). Elektromágneses hullámok biofizikája I. *Semmelweis Egyetem Biofizikai és Sugárbiológiai Intézet, egyetemi jegyzet*

WHO (2011). Electromagnetic fields and public health: mobile phones. *Fact sheet N°193*

Xu S, Zeng Q, Zhang D, Chiang H, Leszczynski D, Xu Z (2010). The effect of 1800 MHz GSM mobile phone radiation on cellular DNA stability. *BEMS 32nd Annual Meeting Abstract Book*: 128-130

Ziskin CM (2010). Thermal vs. non-thermal biological effects. *BEMS 32nd Annual Meeting Abstract Book: 115-116*

63/2004. (VII.26.) ESzCsM rendelet (2004). *net.jogtar.hu/*

misc.meh.hu/letoltheto/mksz.pdf

www.antennessa.com

www.bazisallomas.com

www.emf-portal.hu

www.maschek.de

www.nmhh.hu

www.satimo.com

Melléklet

1.számú melléklet: a határértékekre vonatkozó minisztériumi rendelet

63/2004. (VII. 26.) ESzCsM rendelet

a 0 Hz-300 GHz közötti frekvenciatartományú elektromos, mágneses és elektromágneses terek lakosságra vonatkozó egészségügyi határértékeiről

Az egészségügyről szóló 1997. évi CLIV. törvény 247. §-a (2) bekezdésének *de* és *df* pontjaiban kapott felhatalmazás alapján a következőket rendelem el:

1. § (1) E rendeletben foglaltakat a lakosságnak az elektromos, mágneses és elektromágneses terek expozíciójából származó káros hatások elleni védelme egészségügyi követelményeire kell alkalmazni.

(2) Nem kell alkalmazni e rendeletben foglaltakat, ha az (1) bekezdés szerinti expozíció orvosi beavatkozás során vagy terápiás célból történik.

2. § E rendelet alkalmazásában

a) alapkörlátok: olyan korlátozások az időben változó elektromos, mágneses és elektromágneses terek expozíciójára, amelyek közvetlenül a megállapított egészségi hatásokon alapulnak. A tér frekvenciájától függően ezeknek a korlátoknak a meghatározására szolgáló fizikai mennyiség lehet mágneses indukció (B), áramsűrűség (J), fajlagosan elnyelt teljesítmény (SAR), illetve a teljesítménysűrűség (S);

b) áramsűrűség (J): valamely vezetőben, például az emberi testben vagy annak egy részében, az áram irányára merőlegesen elhelyezkedő egységnyi keresztmetszeten átfolyó áram. Mértékegysége: amper per négyzetméter (A/m^2);

c) elektromágneses tér (EMF): a 0 Hz-300 GHz közötti frekvenciatartományú elektromágneses erőter;

d) elektromos térerősség (E): a térvektor nagysága egy pontban, amely egy pozitív pontszerű (*q*) töltésre ható (*F*) erő osztva a töltéssel. Mértékegysége: volt per méter (V/m);

e) expozíció: a lakosság elektromos, mágneses, illetve elektromágneses térnek való kitétsége;

f) érintési áram (I_c): egy személy és valamely tárgy között folyó áram. Mértékegysége: amper (A);

g) fajlagos energiaelnyelés (SA): egységnyi tömegű élő szövet által elnyelt energia. Mértékegysége: joule per kilogramm (J/kg);

h) fajlagosan elnyelt teljesítmény (SAR): az egész testre vagy a test egy részére átlagolva annak kifejezése, hogy egységnyi tömegű testszövet mekkora teljesítményt nyel el. Mértékegysége: watt per kilogramm (W/kg). Az egész test SAR mellett a helyi SAR értékekre is szükség van a test kis részeiben különleges sugárterhelési feltételek között létrejövő túlzott energiaelnyelés korlátozásához;

i) mágneses térerősség (H): a térvektor nagysága egy pontban, amelyben a *v* sebességgel mozgó *q* töltésre *F* erőt fejt ki. [$F = q (v \times H)$]. Mértékegysége: amper per méter (A/m);

j) mágneses indukció (B): a térvektor nagysága, amely egyenlő a *H* mágneses térerősségnek és a közeg permeabilitásának (μ) szorzatával [$B = \mu H$]. Mértékegysége: tesla (T). Szabad térben és élő

anyagban a mágneses térerősség és a mágneses indukció átszámíthatók az alábbi egyenlet segítségével:
 $1 \text{ A m}^{-1} = 4\pi 10^{-7} \text{ T}$;

k) *teljesítménysűrűség (S)*: a felületre merőlegesen beeső sugárzott teljesítmény osztva a felület területével. Mértékegysége: watt per négyzetméter (W/m^2);

l) *vonatköztáti határértékek*: a gyakorlatban végzett expozíció mérések céljaira az alapkörlátokból származtatott határértékek, annak eldöntésére, hogy valószínűsíthető-e az alapkörlátok túllépése. A származtatott mennyiségek közé tartozik az elektromos térerősség, a mágneses térerősség, a mágneses indukció (B) és a teljesítménysűrűség (S), valamint a végtagáram (I_L). A közvetett hatásokkal kapcsolatos mennyiségek közé tartozik az (érintési) áram (I_C), valamint az impulzusos terek esetében a fajlagos energiafelvétel (SA). Ezeknek a mennyiségeknek bármely sugárterhelési helyzetben mért vagy számított értékeit össze lehet hasonlítani a megfelelő vonatköztáti határértékkel.

3. § A 0 Hz-300 GHz frekvenciájú elektromos, mágneses és elektromágneses terek lakosságra vonatkozó egészségügyi határértékeit az 1. számú melléklet tartalmazza.

4. § (1)¹ A lakosság expozíciójának várható mértékét, a vonatköztáti határértékek betartását a fővárosi és megyei kormányhivatal népegészségügyi szakigazgatási szervének Sugár-egészségügyi Decentrumai ellenőrzik. Abban az esetben, amennyiben

- a) előzetes számítások alapján a vonatköztáti szint túllépése valószínűsíthető,
- b) külön jogszabály előírja,
- c) az elővigyázatossági elv alapján indokolt, vagy
- d) az közegészségügyi szempontból szükséges,

a vonatköztáti szint teljesülését mérésel kell igazolni.

(2) Az (1) bekezdés szerinti igazoló méréseket a berendezés, létesítmény tulajdonosától, beruházójától, üzemeltetőjétől független, külön jogszabály szerint erre a feladatra akkreditált laboratóriummal kell elvégeztetni.

(3) Az expozíció értékelésénél a mért mennyiséget a vonatköztáti határértékkel kell összehasonlítani. A vonatköztáti határértéknek való megfelelés egyúttal biztosítja az alapkörlátoknak való megfelelést is.

(4) Amennyiben a mért mennyiségek értéke nagyobb, mint a vonatköztáti határérték, akkor kiértékelést kell végezni annak megállapítására, hogy az expozíciós szintek alatta vannak-e az alapkörlátoknak. Lokális expozíció esetében közvetlenül a helyi alapkörlátoknak való megfelelést kell vizsgálni, a vonatköztáti határértékek nem alkalmazhatók.

5. § Az egyenlő több frekvencián sugárzó forrásokról származó expozíció értékelésére a 2. számú mellékletben meghatározott képleteket kell alkalmazni.

6. § (1) Ez a rendelet a kihirdetését követő 8. napon lép hatályba.

(2)²

(3) Az elektromos, mágneses, illetve elektromágneses teret kibocsátó, már meglevő berendezéseknek, létesítményeknek 2008. augusztus 31-ig kell megfelelniük az e rendeletben foglalt előírásoknak.

(4) Ez a rendelet a lakosságot érő elektromágneses sugárterhelés (0 Hz-300 GHz) korlátozásáról szóló, 1999. július 12-i 1999/519/EK tanácsi ajánlásnak való megfelelést szolgálja.

1. számú melléklet a 63/2004. (VII. 26.) ESzCsM rendelethez

A 0 Hz-300 GHz frekvenciájú elektromos, mágneses és elektromágneses terek lakosságra vonatkozó egészségügyi határértékei

1. Alapkorlátok az elektromos, mágneses és elektromágneses terekre (0 Hz-300 GHz)

Frekvencia	Mágneses területi indukció (mT)	Áramsűrűség (mA/m ²) (effektív érték)	Egésztest átlagos SAR (W/kg)	Helyi SAR (fej törzs) (W/kg)	Helyi SAR (végtagok) (W/kg)	Teljesítmény- sűrűség S (W/m ²)
0 Hz	40	-	-	-	-	-
> 0-1 Hz	-	8	-	-	-	-
1-4 Hz	-	8/f	-	-	-	-
4-1000 Hz	-	2	-	-	-	-
1000 Hz- 100 kHz	-	f/500	-	-	-	-
100 kHz-10 MHz	-	f/500	0,08	2	4	-
10 MHz-10 GHz	-	-	0,08	2	4	-
10 GHz-300 GHz	-	-	-	-	-	10

Megjegyzések:

1. f a frekvencia Hz-ben.
2. A test elektromos inhomogenitása miatt az áramsűrűséget átlagolni kell az áram irányára merőleges 1 cm²-es keresztmetszetre.
3. A 100 kHz alatti frekvenciákra az áramsűrűség csúcserőértéke az effektív érték 1,414-gyel való szorzásával kapható meg. A t_p impulzus időtartam esetén az alapkorlátokra alkalmazható egyenértékű frekvenciát $f = 1/(2t_p)$ összefüggéssel kell számítani.
4. A 100 kHz alatti frekvenciákon és az impulzussorozat jellegű mágneses terekre az impulzusok okozta maximális áramsűrűség a fel- és lefutási időből és a mágneses indukció változás legnagyobb sebességéből számítható. Ezután az indukált áramsűrűség összehasonlítható a megfelelő alapkorlattal.
5. Minden SAR értéket bármely 6 perces időtartamra kell átlagolni.
6. A helyi SAR átlagolási tömeg bármely 10 g folytonos szövet; az így kapott legnagyobb SAR-nak kell lennie az expozíció meghatározáshoz használt értéknek. Ezeknek a 10 g szöveteknek a közel homogén elektromos tulajdonságú folytonos szövet egy részének kellene lennie.
7. A t_p impulzus időtartam esetén az alapkorlátokra alkalmazható egyenértékű frekvenciát $f = 1/(2 t_p)$ képlettel kell számítani. Továbbá, impulzusos expozícióra a 0,3-10 GHz frekvenciatartományban és a

fej helyi expozíciójára, a termoelasztikus kiterjedés okozta hallási hatások elkerülésére az SA nem haladhatja meg a 10 g szövetre átlagolt 2 mJ/kg értéket.

2. Vonatkoztatási határértékek

Az expozíció vonatkoztatási határértékei a mérhető mennyiségek értékeivel való összehasonlítás céljából vannak megadva.

*Vonatkoztatási határértékek az elektromos, mágneses és elektromágneses terekre
(0 Hz-300 GHz, effektív értékek)*

Frekvenciatartomány	Elektromos télerősség (V/m)	Mágneses télerősség (A/m)	Mágneses indukció (μT)	Ekvivalens
				síkhullám teljesítmény- sűrűség S_{eq} (W/m^2)
0-1 Hz	-	$3,2 \times 10^4$	4×10^4	-
1-8 Hz	10 000	$3,2 \times 10^4/f^2$	$4 \times 10^4/f^2$	-
8-25 Hz	10 000	$4000/f$	$5000/f$	-
0,025-0,8 kHz	$250/f$	$4/f$	$5/f$	-
0,8-3 kHz	$250/f$	5	6,25	-
3-150 kHz	87	5	6,25	-
0,15-1 MHz	87	$0,73/f$	$0,92/f$	-
1-10 MHz	$87/f^{1/2}$	$0,73/f$	$0,92/f$	-
10-400 MHz	28	0,073	0,092	2
400-2000 MHz	$1,375 f^{1/2}$	$0,0037 f^{1/2}$	$0,0046 f^{1/2}$	$f/200$
2-300 GHz	61	0,16	0,20	10

Megjegyzések:

1. f a frekvencia az első oszlopban megadott mértékegységben kifejezve.
2. A 100 kHz és 10 GHz közötti frekvenciák esetében az S_{eq} , E^2 , H^2 és B^2 mennyiségeket átlagolni kell minden 6 perces időszakra.
3. A 10 GHz feletti frekvenciák esetében S_{eq} , E^2 , H^2 és B^2 mennyiségeket átlagolni kell minden $68/f^{1,05}$ perces időszakra (f GHz-ben).

3. Vonatkoztatási határértékek a vezető tárgytól származó érintési áramokra (I_C) (f kHz-ben)

Frekvenciatartomány	Legnagyobb érintési áram (mA)
---------------------	-------------------------------

0 Hz-2,5 kHz	0,5
2,5 kHz-100 kHz	0,2 f
100 kHz-110 MHz	20

4. Vonatkoztatási határérték végtáramra

A 10 MHz-110 MHz-es frekvenciatartományban bármelyik végtagon átfolyó áram nem lehet több 45 mA-nél.

2. számú melléklet a 63/2004. (VII. 26.) ESzCsM rendelethez

Több frekvencián sugárzó forrásokról származó expozíció

Olyan helyzetekben, amikor különböző frekvenciájú elektromágneses terek egyidejű expozíciója áll fenn, figyelembe kell venni, hogy ezeknek a sugárterheléseknek a hatásai összeadódnak. Az ilyen összeadódó hatásokra vonatkozó számításokat minden hatás esetében külön-külön kell elvégezni.

Alapkorlátok

Olyan helyzetekben, amikor különböző frekvenciájú elektromágneses terek egyidejű expozíciója áll fenn, az alapkorlátokkal kapcsolatosan a következő kritériumoknak kell teljesülniük.

Az 1 Hz és 10 MHz közötti frekvenciájú expozíció esetében:

$$\sum_{i=1\text{Hz}}^{10\text{MHz}} \frac{J_i}{J_{L,i}} \leq 1$$

A 100 kHz-tól releváns termikus hatások esetében:

$$\sum_{i=100\text{kHz}}^{10\text{GHz}} \frac{SAR_i}{SAR_L} + \sum_{i>10\text{GHz}}^{300\text{GHz}} \frac{S_i}{S_L} \leq 1$$

ahol

J_i az áramsűrűség i frekvencián;

$J_{L,i}$ az 1. számú melléklet 1. pontjában megadott, az i frekvencián az áramsűrűsége vonatkozó alapkorlát;

SAR_i az i frekvencián expozíció által okozott SAR;

SAR_L az 1. számú melléklet 1. pontjában megadott, SAR-ra vonatkozó alapkorlát;

S_i a teljesítménysűrűség i frekvencián;

S_L az 1. számú melléklet 1. pontjában megadott, a teljesítménysűrűsége vonatkozó alapkorlát.

Vonatkoztatási határértékek:

Az alapkorlátok alkalmazásához a térerősség vonatkoztatási határértékeire vonatkozó alábbi kritériumokat kell alkalmazni.

A 10 MHz feletti frekvencián a következő két követelménynek kell teljesülnie a térerősség szintjeire:

$$\sum_{i=1\text{MHz}}^{1\text{MHz}} \frac{E_i}{E_{L,i}} + \sum_{i>1\text{MHz}}^{10\text{MHz}} \frac{E_i}{a} \leq 1$$

valamint

$$\sum_{j=1\text{Hz}}^{150\text{kHz}} \frac{H_j}{H_{L,j}} + \sum_{j>150\text{kHz}}^{10\text{MHz}} \frac{H_j}{b} \leq 1$$

ahol

E_i az elektromos térerősség i frekvencián;

$E_{L,i}$ az 1. számú melléklet 1. pontjában megadott, az i frekvencián az elektromos térerősség vonatkoztatási határértéke;

H_j a mágneses térerősség j frekvencián;

$H_{L,j}$ az 1. számú melléklet 2. pontjában megadott, a mágneses térerősségre vonatkozó vonatkoztatási határérték;

$a = 87 \text{ V/m}$;

$b = 5 \text{ A/m}$ ($6,25 \text{ } \mu\text{T}$).

A 100 kHz-tól releváns termikus hatás esetében a következő két követelménynek kell teljesülnie a térerősség szintjeire:

$$\sum_{i=100\text{kHz}}^{1\text{MHz}} \left(\frac{E_i}{c} \right)^2 + \sum_{i>1\text{MHz}}^{300\text{GHz}} \left(\frac{E_i}{E_{L,i}} \right)^2 \leq 1$$

$$\sum_{j=100\text{kHz}}^{150\text{kHz}} \left(\frac{H_j}{d} \right)^2 + \sum_{j>150\text{kHz}}^{300\text{GHz}} \left(\frac{H_j}{H_{L,j}} \right)^2 \leq 1$$

ahol

E_i az elektromos térerősség i frekvencián;

$E_{L,i}$ az 1. számú melléklet 2. pontjában megadott, az i frekvencián az elektromos térerősségre vonatkozó vonatkoztatási határérték;

H_j a mágneses térerősség j frekvencián;

$H_{L,j}$ az 1. számú melléklet 2. pontjában megadott, a mágneses térerősségre vonatkozó vonatkoztatási határérték;

$c = 87/\text{f}^{1/2}$, V/m;

$d = 0,73/\text{f}$ A/m.

A végtagáramra és érintési áramra az alábbi követelményeket kell alkalmazni:

$$\sum_{k=10\text{MHz}}^{110\text{MHz}} \left(\frac{I_k}{I_{L,k}} \right)^2 \leq 1$$

$$\sum_{n>1\text{Hz}}^{110\text{MHz}} \left(\frac{I_n}{I_{C,n}} \right)^2 \leq 1$$

ahol

I_k a végtagáram összetevő k frekvencián;

$I_{L,k}$ a végtagáramra vonatkozó vonatkoztatási határérték, 45 mA;

I_n az érintési áram összetevő n frekvencián;

$I_{C,n}$ az 1. számú melléklet 3. pontjában megadott frekvencián az érintési áramra vonatkozó vonatkoztatási határérték.

A fenti összegző képletek a legrosszabb esetekben előálló fázis körülményeket tételezik fel a több forrásból származó terek között. Ennek eredményeként a tipikus sugárterhelési helyzetek a gyakorlatban a vonatkoztatási határértékként fent bemutatott egyenletek által jelzetteknél kevésbé korlátozó expozíciósinteket eredményezhetnek.

¹ *Módosította: 10/2011. (III. 30.) NEFMI rendelet 45. §.*

² *Hatályon kívül helyezte: 118/2008. (V. 8.) Korm. rendelet 4. § 19. Hatálytalan: 2008. V. 16-tól.*

2. számú melléklet: a dokumentációs csomag

Rádiófrekvenciás személyi expozíció-mérés

A személyi expozimetriai felmérés lényege

A rádiófrekvenciás sugárzások vizsgálatának igénye csak az elmúlt évtizedekben fogalmazódott meg, amikor a környezetünkben tömegesen jelentek meg az ezt alkalmazó készülékek és technológiák: mikrohullámú sütő, mobiltelefon, rádió- és televízióadók, mobiltelefon bázisállomások, vezeték nélküli kommunikációs, iroda- és számítástechnikai eszközök. Ezáltal a lakosságot érő elektromágneses expozíció is folyamatosan nő, amelynek az egészségi hatásai a mai napig sem tisztázottak. Azonban az eddigi eredmények alapján megállapítottak lakosságra vonatkozó hatósági határérték ajánlásokat. Ezeket úgy tervezték, hogy kivegyék az összes azonosított veszélyt, legyen szó akár rövid, akár hosszú távú expozícióról. Az elektromágneses (EM) expozíció meghatározására személyi expozíció-mérőt (expozimétert, PEM-et) használhatunk, amellyel információt kaphatunk az emberi erő sugárzások szintjéről és időtartamáról.

A mérés

Három készülékünk van.

Az első, a DSP-090 izotróp expoziméter készülék 24 órán keresztül 15 másodpercenként (vagy 72 órán át 40 másodpercenként) gyűjti az elektromos térerősség értékeit kilenc különböző frekvenciasávban, rádió-, TV-adók, és mobiltelefonok (itt a készülék és az adótorony külön).

A második, az EME-SPY 121 szintén izotróp és 24 órán keresztül 15 másodpercenként (vagy 72 órán át 40 másodpercenként) gyűjti az elektromos térerősség értékeit, de 12 különböző frekvenciasávban, az előzőek mellett vezeték nélküli telefonokat és WiFi-t (mikrosütő) is érzékel.

A harmadik, az ESM-140 nem izotróp, de 24 órán keresztül 1 másodpercenként (vagy 72 órán át 1 másodpercenként) gyűjti az elektromos térerősség értékeit, 8 különböző frekvenciasávban, az előzőek közül a rádió/tv-adókat és TETRA-t nem méri.

	DSP-090	SPY-121	ESM-140
MP	24-15/72-40	24-15/72-40	24-1/72-1
88-108 FM	+	+	-
174-223 TV3	+	+	-
380-400 TETRA	-	+	-
470-830 TV485	+	+	-
880-915 GSM UL	+	+	+
925-960 GSM DL	+	+	+
1710-1785 DCS UL	+	+	+
1805-1880 DCS DL	+	+	+
1880-1900 DECT	-	+	+
1920-1980 UMTS UL	+	+	+
2110-2170 UMTS DL	+	+	+
2400-2500 WiFi	-	+	+

A mérés eredményei utólagosan kerülnek feldolgozásra és kiértékelésre, ami alapján pontos térképet készítnak a vizsgált személy elektromágneses expozíciójáról. Ehhez természetesen szükséges tudnunk a nap során végzett tevékenységeket és azok időpontját, erre szolgál a mellékelt táblázat.

A tényleges expozíciós értékek szinte mindig jóval az ajánlott egészségügyi határérték alatt vannak.

A PEM-ek és a jegyzőkönyv használata

Az expozimétereket használat során lehetőség szerint hordjuk mindig a közelünkben, táskánkban, övön, ágy mellett, íróasztalon. Övjük a készüléket túl magas vagy túl alacsony hőmérsékleti behatásoktól (-10...40 °C az üzemi működési tartomány), valamint a magas páratartalomtól.

A készülékkel a mérés elindítása után más teendőnk nincs, a jegyzőkönyv pontos vezetése azonban elengedhetetlen.

A táblázatban minden tevékenységet új sorba kell írni, pontosan megnevezni, kezdetét és végét feljegyezni. A táblázat negyedik, "Jelzés" felirátú oszlopába „O” kerül, ha az adott tevékenység otthonunkban zajlik, ezen belül külön tüntessük fel az alvás idejét „A” jelzéssel, „M”, ha munkahelyünkön tartózkodunk, „U”, ha utazunk (ebbe a megállidig tartó séta is beleszámít) és „E”; ha egyéb tevékenységet végzünk (sport, szórakozás, bevásárlás, stb.). Fontos, hogy ha valahol 5 percnél többet töltünk, akkor már fel kell jegyezni az utazás esetében írjuk le, hogy honnan hová és milyen közlekedési eszközzel történt, az átszállásokat is kiemelve! A mobiltelefon használatát külön jelezzük, a hívás fogadást, kezdeményezést, illetve az SMS fogadást és küldését! Minden egyéb készülékhasználatot is írjunk föl: vezeték nélküli otthoni telefon, mobil-internet, mikrohullámú sütő, bluetooth, WiFi, stb.

Demográfia

Kérjük, hogy az adatok pontosabb feldolgozása érdekében válaszoljon az alábbi kérdésekre! Az adatokat az Eötvös Loránd Tudományegyetem és az Országos Sugáregészségügyi és Sugárbiológiai Kutató Intézet bizalmasan kezeli, azokat harmadik félnek nem adja ki, csakis a fent ismertetett kutatási célra használja fel.

1. Név
2. Telefonszám
3. Foglalkozás
4. Életkor
5. Email-cím
6. Lakcím
7. Használ-e mobiltelefont, és ha igen, akkor kb. mennyi ideje és milyen típusút?
 - a) Nem
 - b) < 3 éve
 - c) 3-6 éve
 - d) > 6 éve

Típus:

8. Naponta átlagosan kb. hány percet használja a mobilját?
 - a) < 5 perc
 - b) 5-15 perc
 - c) 15-30 perc
 - d) > 30 perc
9. Van-e tudomása a lakóhelye közelében lévő antennáról, adótoronyról?
10. Használ-e mikrohullámú sütőt, és ha igen, akkor kb. mennyi ideje és milyen típusút?
 - a) Nem
 - b) < 5 éve
 - c) 5-10 éve
 - d) > 10 éve

Típus:

11. Használ-e valamilyen vezeték nélküli technológiát és ha igen, akkor melyet?
 - a) Nem
 - b) vezeték nélküli vonalas telefon
 - c) bluetooth
 - d) WiFi

Egyéb:

12. Érez fejfájást mobiltelefonálás közben ill. azt követően?
13. Érez ful környéki melegedést mobiltelefonálás közben ill. azt követően?
14. Érez fáradtságot, koncentrációzavart mobiltelefonálás közben ill. azt követően?

Köszönjük az együttműködését!



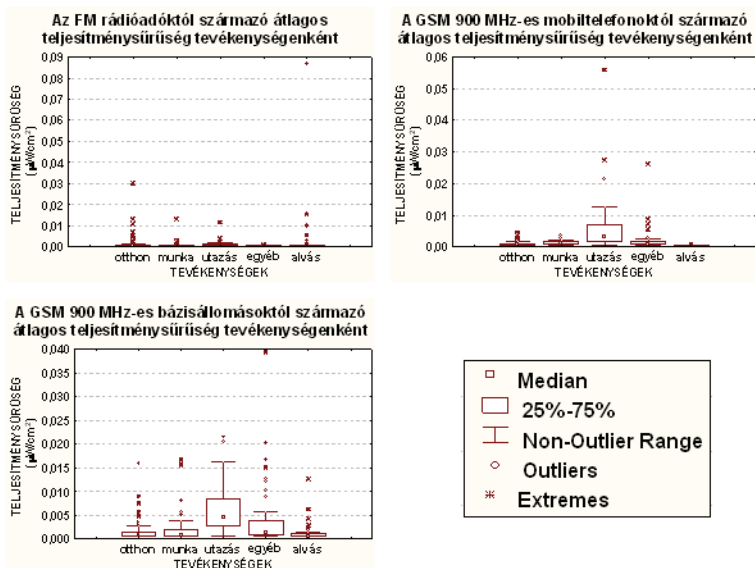
3. számú melléklet: demonstráló ábrák az eredményekhez

Egyetemisták

LSD test; NAPI
Probabilities for Post Hoc Tests
Error: Between MS = ,00000, df = 804,00

Cell No.	Frekvenciasávok	FM ,00160	TV-VHF ,00069	TETRA ,00070	TV-UHF ,00079	GSM900T ,00140	GSM900B ,00218	GSM1800T ,00108	GSM1800B ,00084	DECT ,00117	3G T ,00066	3G B ,00070	WLAN ,00108
1	FM		0,000262	0,000316	0,001249	0,420757	0,018936	0,037560	0,002286	0,088323	0,000182	0,000338	0,038763
2	TV-VHF	0,000262		0,961489	0,669255	0,004337	0,000000	0,113814	0,544667	0,060364	0,925465	0,946947	0,110860
3	TETRA	0,000316	0,961489		0,704767	0,005038	0,000000	0,125250	0,577185	0,066295	0,887209	0,985434	0,122065
4	TV-UHF	0,001249	0,669255	0,704767		0,015177	0,000000	0,248157	0,868218	0,125799	0,602573	0,718369	0,242844
5	GSM 900T	0,420757	0,004337	0,005038	0,015177		0,001663	0,201739	0,024425	0,367932	0,003226	0,005328	0,206393
6	GSM 900B	0,018936	0,000000	0,000000	0,000000	0,001663		0,000011	0,000000	0,000054	0,000000	0,000000	0,000011
7	GSM 1800T	0,037560	0,113814	0,125250	0,248157	0,201739	0,000011		0,328676	0,706423	0,094012	0,129801	0,389557
8	GSM 1800B	0,002286	0,544667	0,577185	0,868218	0,024425	0,000000	0,328676		0,706169	0,484373	0,589714	0,322439
9	DECT	0,088323	0,060364	0,066295	0,125799	0,367932	0,000054	0,706423	0,176189		0,040358	0,058685	0,716173
10	3G T	0,000182	0,925465	0,887209	0,602573	0,003226	0,000000	0,094012	0,484373	0,040358		0,872808	0,091477
11	3G B	0,000338	0,946947	0,985434	0,718369	0,005328	0,000000	0,129801	0,589714	0,058685	0,872808		0,126526
12	WLAN	0,038763	0,110860	0,122065	0,242844	0,206393	0,000011	0,389557	0,322439	0,716173	0,091477	0,126526	

M1. ábra: Diákok napi expozíciója frekvenciasávonként – Fisher LSD teszt



M2. ábra: Az FM, GSM 900-as telefonok és bázisállomások expozíciója tevékenységek szerint

LSD test; FM						
Probabilities for Post Hoc Tests						
Error: Between MS = ,00003, df = 323,00						
TEVÉKENYSÉG						
Cell No.	OTTHON ,00187	MUNKA ,00111	UTAZÁS ,00122	EGYÉB ,00074	ALVÁS ,00264	
1	otthon	0,408722	0,471833	0,226414	0,402089	
2	munka	0,408722	0,906240	0,694673	0,099218	
3	utazás	0,471833	0,906240	0,607263	0,119894	
4	egyéb	0,226414	0,694673	0,607263	0,043760	
5	alvás	0,402089	0,099218	0,119894	0,043760	

LSD test; GSM 900T						
Probabilities for Post Hoc Tests						
Error: Between MS = ,00002, df = 323,00						
TEVÉKENYSÉG						
Cell No.	OTTHON ,00122	MUNKA ,00134	UTAZÁS ,00568	EGYÉB ,00199	ALVÁS ,00069	
1	otthon	0,856450	0,000000	0,264505	0,435133	
2	munka	0,856450	0,000000	0,354997	0,342559	
3	utazás	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	
4	egyéb	0,264505	0,354997	0,000000		0,061785
5	alvás	0,435133	0,342559	0,000000	0,061785	

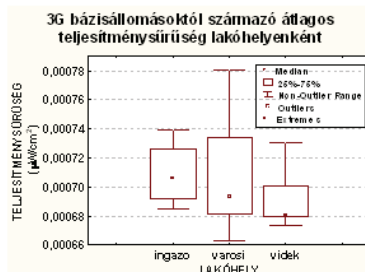
LSD test; GSM 900B						
Probabilities for Post Hoc Tests						
Error: Between MS = ,00002, df = 323,00						
TEVÉKENYSÉG						
Cell No.	OTTHON _00172	MUNKA _00201	UTAZÁS _00617	EGYÉB _00404	ALVÁS _00133	
1	otthon	0,668712	0,000000	0,000879	0,563738	
2	munka	0,668712	0,000000	0,004053	0,319327	
3	utazás	0,000000	0,000000	0,002207	0,000000	
4	egyéb	0,000879	0,004053	0,002207	0,000109	
5	alvás	0,563738	0,319327	0,000000	0,000109	

M3. ábra: Az FM, GSM 900-as telefonok és bázisállomások LSD tesztje tevékenységek szerint

LSD test; TELJES						
Probabilities for Post Hoc Tests						
Error: Between MS = ,00028, df = 323,00						
Cell No.	tevékenység	otthon ,01747	munka ,01457	utazás ,04017	egyéb ,02139	alvás ,01157
1	otthon		0,320608	0,000000	0,186909	0,040813
2	munka	0,320608		0,000000	0,024008	0,304923
3	utazás	0,000000	0,000000		0,000000	0,000000
4	egyéb	0,186909	0,024008	0,000000		0,001035
5	alvás	0,040813	0,304923	0,000000	0,001035	

M4. ábra: Diákok napi expozíciós kitettsége tevékenységek szerint – Fisher LSD teszt

Multiple Comparisons p values; NAPI LAKÓHELY			
Kruskal-Wallis test: p = ,0431			
Depend.: 3G B	ingazo	varosi	videk
	R:42,115	R:35,631	R:23,231
ingazo		0,904484	0,044691
varosi	0,904484		0,144514
videk	0,044691	0,144514	



M5. ábra: 3G bázisállomásokból származó expozíciók lakóhelyenként – Kruskal-Wallis teszt

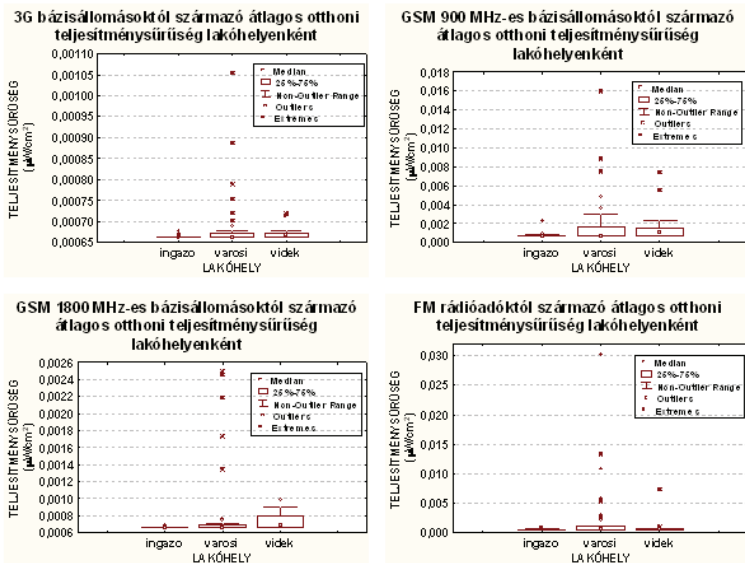
Multiple Comparisons p values (OTTHON) Kruskal-Wallis test: p = .0419			
Depend.: GSM 900 B	ingazo	varosi	videk
	R:23,846	R:35,095	R:43,231
ingazo		0,219189	0,037327
varosi	0,219189		0,584595
videk	0,037327	0,584595	

Multiple Comparisons p values (OTTHON) Kruskal-Wallis test: p = .0050			
Depend.: GSM 1800 B	ingazo	varosi	videk
	R:23,192	R:33,750	R:48,231
ingazo		0,277550	0,003736
varosi	0,277550		0,063102
videk	0,003736	0,063102	

Multiple Comparisons p values (2.t OTTHON) Kruskal-Wallis test: p = .0146			
Depend.: 3G B	ingazo	varosi	videk
	R:23,000	R:34,643	R:45,538
ingazo		0,190711	0,010983
varosi	0,190711		0,247632
videk	0,010983	0,247632	

Multiple Comparisons p values (2.t OTTHON) Kruskal-Wallis test: p = .0056			
Depend.: FM	ingazo	varosi	videk
	R:21,192	R:40,250	R:29,231
ingazo		0,007176	0,900001
varosi	0,007176		0,237362
videk	0,900001	0,237362	

M6. ábra: Az FM, GSM 900-as, 1800-as és 3G bázisállomások expozíciója otthoni környezetben lakóhelyek szerint



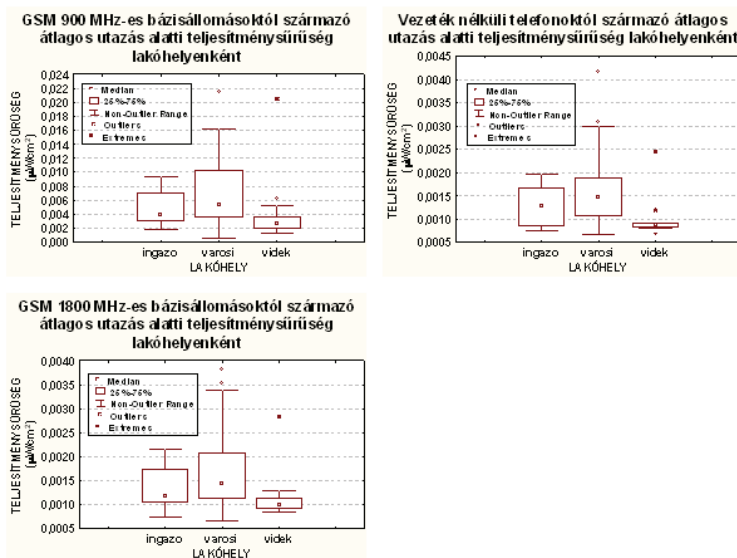
M7. ábra: Az FM, GSM 900-as, 1800-as és 3G bázisállomások expozíciója otthoni környezetben lakóhelyek szerint

Multiple Comparisons p values (2-t) UTAZÁS Kruskal-Wallis test: p = ,0122			
Depend.: GSM 900 B	ingazo	varosi	videk
	R: 32,000	R: 39,429	R: 21,077
ingazo		0,709627	0,477075
varosi	0,709627		0,010361
videk	0,477075	0,010361	

Multiple Comparisons p values (2-t) UTAZÁS Kruskal-Wallis test: p = ,0073			
Depend.: GSM 1800 B	ingazo	varosi	videk
	R: 31,308	R: 39,810	R: 20,538
ingazo		0,526552	0,494934
varosi	0,526552		0,006408
videk	0,494934	0,006408	

Multiple Comparisons p values (2-t) UTAZÁS Kruskal-Wallis test: p = ,0033			
Depend.: DECT	ingazo	varosi	videk
	R: 32,385	R: 39,976	R: 18,923
ingazo		0,679244	0,247875
varosi	0,679244		0,002384
videk	0,247875	0,002384	

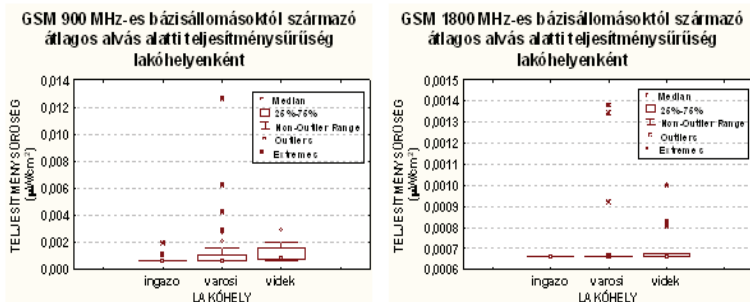
M8. ábra: A DECT, GSM 900-as és 1800 bázisállomások utazás közbeni expozíciója lakóhely szerint



M9. ábra: A DECT, GSM 900-as és 1800 bázisállomások utazás közbeni expozíciója lakóhely szerint

LSD test; ALVAS Probabilities for Post Hoc Tests Error: Between MS = .00001, df = 804,00													
Cell No.	Frekvenciasávok	FM .00264	TV-VHF .00068	TETRA .00069	TV-UHF .00080	GSM900T .00069	GSM900B .00133	GSM1800T .00067	GSM1800B .00070	DECT .00087	3G T .00066	3G B .00066	WLAN .00069
1	FM		0,000328	0,000351	0,000724	0,000352	0,016263	0,000298	0,000361	0,001132	0,000283	0,000266	0,001285
2	TV-VHF	0,000328		0,985846	0,830596	0,985378	0,230711	0,979641	0,980154	0,733732	0,968942	0,970873	0,706435
3	TETRA	0,000351	0,985846		0,844456	0,999532	0,237677	0,965495	0,994307	0,747129	0,954804	0,956733	0,719662
4	TV-UHF	0,000724	0,830596	0,844456		0,844915	0,324709	0,810753	0,850044	0,899544	0,800369	0,802240	0,870736
5	GSM 900T	0,000352	0,985378	0,999532	0,844915		0,237910	0,965028	0,994775	0,747573	0,954337	0,956266	0,720101
6	GSM 900B	0,016263	0,230711	0,237677	0,324709	0,237910		0,220948	0,240521	0,390511	0,215935	0,216633	0,410948
7	GSM 1800T	0,000298	0,979641	0,965495	0,810753	0,965028	0,220948		0,959808	0,714603	0,989295	0,991227	0,687564
8	GSM 1800B	0,000361	0,980154	0,994307	0,850044	0,994775	0,240521	0,959808		0,752540	0,949121	0,951049	0,725006
9	DECT	0,001132	0,733732	0,747129	0,899544	0,747573	0,390511	0,714603	0,752540		0,704617	0,708415	0,970894
10	3G T	0,000283	0,968942	0,954804	0,800369	0,954337	0,215935	0,989295	0,949121	0,704617		0,998068	0,677719
11	3G B	0,000266	0,970873	0,956733	0,802240	0,956266	0,216633	0,991227	0,951049	0,708415	0,998068		0,679492
12	WLAN	0,001285	0,706435	0,719662	0,870736	0,720101	0,410948	0,687564	0,725006	0,970894	0,677719	0,679492	

M10. ábra: Diákok alvás közbeni expozíciója frekvenciasávok szerint



M11. ábra: A GSM 900-as és 1800-as bázisállomások expozíciója alvás közben lakóhely szerint

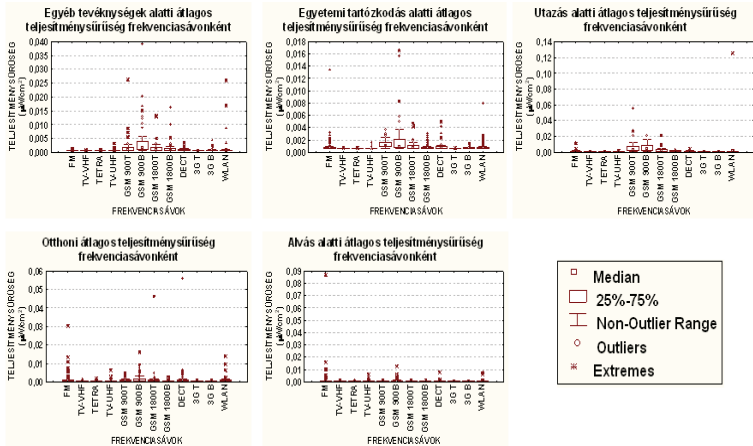
Multiple Comparisons p values (ALVAS) Kruskal-Wallis test: p =,0114			
Depend.: GSM 900 B	ingázó R:26,462	városi R:33,714	vidék R:45,077
ingázó		0,743464	0,049164
városi	0,743464		0,210641
vidék	0,049164	0,210641	

Multiple Comparisons p values (ALVAS) Kruskal-Wallis test: p =,0118			
Depend.: GSM 1800 B	ingázó R:25,077	városi R:33,333	vidék R:47,692
ingázó		0,564943	0,010640
városi	0,564943		0,066418
vidék	0,010640	0,066418	

M12. ábra: A GSM 900-as és 1800-as bázisállomások expozíciója alvás közben lakóhely szerint

LSD test, MUNKA Probabilities for Post Hoc Tests Error: Between MS = .0000, df = 756.00													
Cell No.	Frekvenciasávok	FM _00111	TV-VHF _00067	TETRA _00067	TV-UHF _00072	GSM900T _00134	GSM900B _00201	GSM1800T _00106	GSM1800B _00087	DECT _00095	3G T _00067	3G B _00073	WLAN _00100
1	FM		0,021174	0,020153	0,039593	0,230459	0,000000	0,774703	0,212335	0,411249	0,019970	0,040602	0,576169
2	TV-VHF	0,021174		0,960075	0,812271	0,000475	0,000000	0,043387	0,268816	0,137289	0,982324	0,736110	0,080444
3	TETRA	0,020153	0,960075		0,797794	0,000443	0,000000	0,041491	0,280406	0,132420	0,997248	0,721062	0,077268
4	TV-UHF	0,039593	0,812271	0,797794		0,001115	0,000000	0,074535	0,410263	0,217031	0,795132	0,919672	0,130728
5	GSM 900T	0,230459	0,000475	0,000443	0,001115		0,000433	0,137570	0,014577	0,034387	0,000437	0,001578	0,078918
6	GSM 900B	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000433		0,000001	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
7	GSM 1800T	0,774703	0,043387	0,041491	0,074535	0,137570	0,000001		0,336410	0,592239	0,041149	0,092420	0,789004
8	GSM 1800B	0,212335	0,268816	0,280406	0,410263	0,014577	0,000000	0,336410		0,670177	0,728874	0,469899	0,491039
9	DECT	0,411249	0,137289	0,132420	0,217031	0,034387	0,000000	0,592239	0,670177		0,131537	0,250887	0,792683
10	3G T	0,019970	0,982324	0,997248	0,795132	0,000437	0,000000	0,041149	0,278874	0,131537		0,718482	0,076693
11	3G B	0,040602	0,736110	0,721062	0,919672	0,001578	0,000000	0,092420	0,469899	0,250887	0,718482		0,158361
12	WLAN	0,576169	0,080444	0,077268	0,130728	0,078918	0,000000	0,789004	0,491039	0,792683	0,076693	0,158361	
LSD test, OTTHON Probabilities for Post Hoc Tests Error: Between MS = .0001, df = 804.00													
Cell No.	Frekvenciasávok	FM _00187	TV-VHF _00069	TETRA _00070	TV-UHF _00085	GSM900T _00122	GSM900B _00172	GSM1800T _00162	GSM1800B _00079	DECT _00199	3G T _00066	3G B _00068	WLAN _00131
1	FM		0,019679	0,020681	0,043663	0,194334	0,760754	0,614213	0,032700	0,814778	0,017318	0,019046	0,263937
2	TV-VHF	0,019679		0,960045	0,751639	0,299518	0,042432	0,067199	0,843379	0,010307	0,961933	0,990196	0,223439
3	TETRA	0,020681	0,960045		0,765905	0,308325	0,043669	0,070039	0,850872	0,010873	0,947001	0,975243	0,230639
4	TV-UHF	0,043663	0,751639	0,765905		0,470780	0,086665	0,129853	0,905344	0,024411	0,718707	0,742332	0,367440
5	GSM 900T	0,194334	0,299518	0,308325	0,470780		0,320350	0,427032	0,400877	0,125597	0,277857	0,293836	0,857013
6	GSM 900B	0,760754	0,042432	0,043669	0,086665	0,320350		0,841788	0,066896	0,590079	0,037620	0,042101	0,415818
7	GSM 1800T	0,614213	0,067199	0,070039	0,129853	0,427032	0,841788		0,102402	0,460360	0,060392	0,065389	0,539094
8	GSM 1800B	0,032700	0,843379	0,850872	0,905344	0,400877	0,066896	0,102402		0,017640	0,086225	0,833777	0,307686
9	DECT	0,814778	0,010307	0,010873	0,024411	0,125597	0,590079	0,460360	0,017640		0,008980	0,009499	0,176418
10	3G T	0,017318	0,961933	0,947001	0,718707	0,277857	0,037620	0,060392	0,862625	0,008980		0,971729	0,205838
11	3G B	0,019046	0,990196	0,975243	0,742332	0,263937	0,041201	0,065389	0,833777	0,009499	0,971729		0,218807
12	WLAN	0,263937	0,223439	0,230639	0,367440	0,857013	0,415818	0,539094	0,307686	0,176418	0,205838	0,218807	
LSD test, UTÁZAS Probabilities for Post Hoc Tests Error: Between MS = .0003, df = 804.00													
Cell No.	Frekvenciasávok	FM _00122	TV-VHF _00069	TETRA _00072	TV-UHF _00079	GSM900T _00058	GSM900B _00617	GSM1800T _00282	GSM1800B _00153	DECT _00143	3G T _00067	3G B _00095	WLAN _00255
1	FM		0,549403	0,575206	0,631930	0,000001	0,000000	0,072533	0,272624	0,815994	0,536248	0,759151	0,138845
2	TV-VHF	0,549403		0,969476	0,904741	0,000000	0,000000	0,016756	0,345120	0,405635	0,983922	0,771208	0,036765
3	TETRA	0,575206	0,969476		0,935116	0,000000	0,000000	0,018575	0,365008	0,427775	0,953416	0,800630	0,040340
4	TV-UHF	0,631930	0,904741	0,935116		0,000000	0,000000	0,023029	0,409650	0,476689	0,888797	0,864125	0,048936
5	GSM 900T	0,000001	0,000000	0,000000	0,000000		0,582289	0,001334	0,000003	0,000000	0,000000	0,000000	0,000447
6	GSM 900B	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,582289		0,000175	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000051
7	GSM 1800T	0,072533	0,016756	0,018575	0,023029	0,001334	0,000175		0,146787	0,117895	0,151862	0,139502	0,760308
8	GSM 1800B	0,272624	0,345120	0,365008	0,409650	0,000003	0,000000	0,146787		0,910083	0,334929	0,151453	0,251642
9	DECT	0,815994	0,405635	0,427775	0,476689	0,000002	0,000000	0,117895	0,910083		0,394555	0,588802	0,207975
10	3G T	0,536248	0,983922	0,953416	0,888797	0,000000	0,000000	0,151862	0,334929	0,394555		0,755842	0,034994
11	3G B	0,759151	0,771208	0,800630	0,864125	0,000000	0,000000	0,356502	0,513453	0,588802	0,755842		0,072084
12	WLAN	0,138845	0,036765	0,040340	0,048936	0,000447	0,000051	0,760308	0,251642	0,207975	0,034994	0,072084	
LSD test, EGYEB Probabilities for Post Hoc Tests Error: Between MS = .0001, df = 708.00													
Cell No.	Frekvenciasávok	FM _00074	TV-VHF _00068	TETRA _00070	TV-UHF _00075	GSM900T _00199	GSM900B _00404	GSM1800T _00172	GSM1800B _00158	DECT _00099	3G T _00066	3G B _00087	WLAN _00157
1	FM		0,899251	0,939452	0,979175	0,000693	0,000000	0,036685	0,073879	0,591809	0,879538	0,776232	0,075042
2	TV-VHF	0,899251		0,969605	0,878626	0,005516	0,000000	0,026744	0,055682	0,507474	0,980098	0,681201	0,056604
3	TETRA	0,939452	0,969605		0,918707	0,006431	0,000000	0,030399	0,062454	0,540439	0,939741	0,718710	0,063468
4	TV-UHF	0,979175	0,878626	0,918707		0,008698	0,000000	0,039087	0,078180	0,609367	0,858993	0,796306	0,079398
5	GSM 900T	0,000693	0,005516	0,006431	0,008698		0,000015	0,572995	0,386176	0,034297	0,005111	0,017921	0,382254
6	GSM 900B	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000015		0,000001	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
7	GSM 1800T	0,036685	0,026744	0,030399	0,039087	0,572995	0,000001		0,761826	0,119976	0,025087	0,070895	0,756359
8	GSM 1800B	0,073879	0,055682	0,062454	0,078180	0,386176	0,000000	0,761826		0,210418	0,052579	0,132597	0,994269
9	DECT	0,591809	0,507474	0,540439	0,609367	0,034297	0,000000	0,119976	0,210418		0,491635	0,801022	0,213041
10	3G T	0,879538	0,980098	0,939741	0,858993	0,005111	0,000000	0,025087	0,052579	0,491635		0,663006	0,053457
11	3G B	0,776232	0,681201	0,718710	0,796306	0,017921	0,000000	0,070895	0,132597	0,801022	0,663006		0,134652
12	WLAN	0,075042	0,056604	0,063468	0,079398	0,382254	0,000000	0,756359	0,994269	0,213041	0,053457	0,134652	

M13. ábra: LSD tesztek a tevékenységekre frekvenciánként



M14. ábra: A különböző tevékenységek alatti expozíció frekvenciáinként

Spearman Rank Order Correlations						
TELJES						
Marked correlations are significant at $p < .05000$						
TEVÉKENYSÉGEK	Otthon	Munka	Utazás	Egyéb	Alvás	NAPI
Otthon	1,000000	0,196456	0,221843	0,260719	0,544099	0,753829
Munka	0,196456	1,000000	0,144028	0,183021	0,189221	0,346761
Utazás	0,221843	0,144028	1,000000	0,588319	0,219934	0,531546
Egyéb	0,260719	0,183021	0,588319	1,000000	0,195532	0,636481
Alvás	0,544099	0,189221	0,219934	0,195532	1,000000	0,627189
NAPI	0,753829	0,346761	0,531546	0,636481	0,627189	1,000000

M15. ábra: Tevékenységek közti korreláció

Spearman Rank Order Correlations													
NAPI													
Marked correlations are significant at $p < .05000$													
FREKVENCIA	FM	TV-VHF	TETRA	TV-UHF	GSM 900 T	GSM 900 B	GSM 1800 T	GSM 1800 B	DECT	3G T	3G B	WLAN	TELJES
FM	1,000000	0,232464	0,125885	0,540919	-0,182951	0,030940	0,175851	0,030902	0,266553	-0,063299	0,086524	-0,025787	0,257618
TV-VHF	0,232464	1,000000	0,258967	0,450556	-0,080678	0,124353	0,081942	0,129392	0,144662	0,266599	0,206123	0,136684	0,182148
TETRA	0,125885	0,258967	1,000000	0,499516	0,368818	0,150432	0,377407	0,189047	-0,062670	0,236247	0,291053	0,411327	0,255242
TV-UHF	0,540919	0,450556	0,499516	1,000000	-0,063714	0,119888	0,130405	0,195074	-0,005268	0,012771	0,349911	0,148634	0,127961
GSM 900 T	-0,182951	-0,080678	0,368818	-0,063714	1,000000	-0,089195	0,649848	0,012062	-0,081789	0,141190	0,012808	0,225623	0,421118
GSM 900 B	0,030940	0,124353	0,150432	0,119888	-0,089195	1,000000	0,679633	0,287053	0,274338	0,274338	0,555816	-0,074078	0,437724
GSM 1800 T	0,175851	0,081942	0,377407	0,130405	0,649848	0,679633	1,000000	0,113855	0,063083	0,121804	0,152541	0,182302	0,498077
GSM 1800 B	0,030902	0,129392	0,189047	0,195074	0,012062	0,287053	0,113855	1,000000	0,281480	0,176934	0,637228	0,164971	0,388746
DECT	0,266553	0,144662	-0,062670	-0,005268	-0,081789	0,287053	0,063083	0,281480	1,000000	0,016223	0,268875	-0,060564	0,498192
3G T	-0,063299	0,266599	0,236247	0,012771	0,141190	0,274338	0,121804	0,176934	0,016223	1,000000	0,134575	0,037949	0,201419
3G B	0,086524	0,206123	0,291053	0,349911	0,012808	0,555816	0,152541	0,637228	0,268875	0,134575	1,000000	0,016381	0,241280
WLAN	-0,025787	0,136684	0,411327	0,148634	0,225623	-0,074078	0,182302	-0,164971	-0,060564	0,037949	0,016381	1,000000	0,277049
TELJES	0,257618	0,182148	0,255242	0,127961	0,421118	0,437724	0,498077	0,388746	0,498192	0,201419	0,241280	0,277049	1,000000

M16. ábra: Frekvenciasávok közti korreláció

Spearman Rank Order Correlations OTTHON													
Marked correlations are significant at $p < 0.05000$													
FREKVENCIA	FM	TV-VHF	TETRA	TV-UHF	GSM 900 T	GSM 900 B	GSM 1800 T	GSM 1800 B	DECT	3G T	3G B	WLAN	TELJES
FM	1.000000	0.376179	0.045013	0.440915	0.104939	0.131526	0.165272	0.131159	0.166180	0.076126	0.070008	-0.131622	0.265346
TV-VHF	0.376179	1.000000	0.316728	0.321240	-0.113704	-0.076560	0.021206	-0.145566	-0.014258	0.343698	-0.074756	0.042832	0.056812
TETRA	0.045013	0.316728	1.000000	0.472136	0.175909	0.124291	0.093290	0.116622	0.139927	0.214395	0.063928	0.249036	0.268741
TV-UHF	0.440915	0.321240	0.472136	1.000000	0.181839	0.177716	-0.017581	0.216904	0.234717	0.149462	0.126573	0.160536	0.241339
GSM 900 T	0.104939	-0.113704	0.175909	0.181839	1.000000	-0.040444	0.427290	0.211601	0.226254	-0.045882	-0.000438	0.128891	0.521692
GSM 900 B	0.131526	-0.076560	0.124291	0.177716	-0.040444	1.000000	0.206268	0.732091	0.274104	0.103448	0.710062	-0.249518	0.351364
GSM 1800 T	0.165272	0.021206	0.093290	-0.017581	0.427290	0.206268	1.000000	0.275773	0.135726	-0.011131	0.142478	-0.068540	0.489894
GSM 1800 B	0.131159	-0.145566	0.116622	0.216904	0.211601	0.732091	0.275773	1.000000	0.239834	0.075670	0.749747	-0.230918	0.331755
DECT	0.166180	-0.014258	0.139927	0.234717	0.226254	0.274104	0.135726	0.239834	1.000000	-0.033337	0.168927	0.092914	0.563039
3G T	0.076126	0.343698	0.214395	0.149462	-0.045882	0.103448	-0.011131	0.075670	-0.033337	1.000000	0.140735	0.167564	0.039199
3G B	0.070008	-0.074756	0.063928	0.126573	-0.000438	0.710062	0.142478	0.749747	0.168927	0.140735	1.000000	-0.213965	0.181381
WLAN	-0.131622	0.042832	0.249036	0.160536	0.128891	-0.249518	-0.068540	-0.230918	0.092914	0.167564	-0.213965	1.000000	0.270590
TELJES	0.265346	0.056812	0.268741	0.241339	0.521692	0.351364	0.489894	0.331755	0.563039	0.039199	0.181381	0.270590	1.000000
Spearman Rank Order Correlations UTAZAS													
Marked correlations are significant at $p < 0.05000$													
FREKVENCIA	FM	TV-VHF	TETRA	TV-UHF	GSM 900 T	GSM 900 B	GSM 1800 T	GSM 1800 B	DECT	3G T	3G B	WLAN	TELJES
FM	1.000000	-0.154127	0.090738	0.363055	-0.266352	0.291776	0.137442	0.357624	0.255130	-0.123489	0.444353	-0.294164	0.122622
TV-VHF	-0.154127	1.000000	0.100102	0.246011	0.165006	0.145900	-0.038346	0.102153	0.202245	0.090426	0.000899	0.162431	0.192499
TETRA	0.090738	0.100102	1.000000	0.334418	0.250036	0.565463	0.239137	0.502057	0.455428	0.239578	0.516429	0.102268	0.526068
TV-UHF	0.363055	0.246011	0.334418	1.000000	-0.079534	0.450003	0.157063	0.501766	0.379726	0.014651	0.555780	0.162465	0.317848
GSM 900 T	-0.266352	0.165006	0.250036	-0.079534	1.000000	0.004180	0.288569	0.032619	0.062167	0.168037	0.029603	0.153565	0.595900
GSM 900 B	0.291776	0.145900	0.565463	0.450003	0.004180	1.000000	0.174928	0.893077	0.781039	0.033102	0.805623	0.026378	0.571011
GSM 1800 T	0.137442	-0.038346	0.239137	0.157063	0.288569	0.174928	1.000000	0.289447	0.181456	-0.005138	0.289256	0.025882	0.568874
GSM 1800 B	0.357624	0.102153	0.502057	0.501766	0.032619	0.893077	0.289447	1.000000	0.794400	-0.025118	0.863799	0.062416	0.583876
DECT	0.255130	0.202245	0.455428	0.379726	0.062167	0.781039	0.181456	0.794400	1.000000	-0.008519	0.732712	-0.049778	0.513495
3G T	-0.123489	0.090426	0.239578	0.014651	0.168037	0.033102	-0.005138	-0.025118	-0.008519	1.000000	-0.019197	0.131245	0.145417
3G B	0.444353	0.000899	0.516429	0.555780	-0.029603	0.805623	0.289256	0.863799	0.732712	-0.019197	1.000000	0.060734	0.518676
WLAN	-0.294164	0.162431	0.102268	0.162465	0.153565	0.026378	-0.025882	0.062416	-0.049778	0.131245	0.060734	1.000000	0.201651
TELJES	0.122622	0.192499	0.526068	0.317848	0.595900	0.571011	0.568874	0.583876	0.513495	0.145417	0.518676	0.201651	1.000000
Spearman Rank Order Correlations MUNKÁ													
Marked correlations are significant at $p < 0.05000$													
FREKVENCIA	FM	TV-VHF	TETRA	TV-UHF	GSM 900 T	GSM 900 B	GSM 1800 T	GSM 1800 B	DECT	3G T	3G B	WLAN	TELJES
FM	1.000000	-0.015453	-0.004825	0.302959	-0.260357	0.332524	0.253924	0.394061	0.328006	-0.242328	0.425441	-0.104010	0.344792
TV-VHF	-0.015453	1.000000	0.386487	0.221099	0.074671	0.121442	0.044477	0.074847	0.127588	0.209416	0.125641	0.296025	0.150809
TETRA	-0.004825	0.386487	1.000000	0.440620	0.006861	0.206680	0.084178	0.317524	0.337433	0.428588	0.291785	0.230732	0.194225
TV-UHF	0.302959	0.221099	0.440620	1.000000	-0.085942	0.506208	0.396151	0.611169	0.427089	-0.112667	0.521862	0.178923	0.408522
GSM 900 T	-0.260357	0.074671	0.006861	-0.085942	1.000000	-0.187781	0.401039	-0.236328	-0.088305	0.212932	-0.152275	-0.010051	0.259049
GSM 900 B	0.332524	0.121442	0.206680	0.506208	-0.187781	1.000000	0.325584	0.711649	0.788266	-0.093159	0.774595	0.088442	0.653182
GSM 1800 T	0.253924	0.044477	0.084178	0.396151	0.401039	0.325584	1.000000	0.357057	0.374559	-0.039512	0.393498	0.186739	0.567389
GSM 1800 B	0.394061	0.074847	0.317524	0.611169	-0.236328	0.711649	0.357057	1.000000	0.862957	-0.018036	0.821820	0.027223	0.371000
DECT	0.328006	0.127588	0.337433	0.427089	-0.088305	0.788266	0.374559	0.862957	1.000000	0.096464	0.800121	0.062866	0.675339
3G T	-0.242328	0.209416	0.428588	-0.112667	0.212932	-0.093159	-0.039512	-0.018036	0.096464	1.000000	-0.020927	0.140196	0.025791
3G B	0.425441	0.125641	0.291785	0.521862	-0.152275	0.774595	0.393498	0.821820	0.800121	-0.020927	1.000000	0.108752	0.462674
WLAN	-0.104010	0.296025	0.230732	0.178923	-0.010051	0.088442	0.186739	0.027223	0.062866	0.140196	0.108752	1.000000	0.182033
TELJES	0.344792	0.150809	0.194225	0.408522	0.259049	0.653182	0.567389	0.371000	0.675339	0.025791	0.462674	0.182033	1.000000

M17. ábra: Frekvenciasávok közti korreláció vizsgálata a főbb tevékenységekre

Spearman Rank Order Correlations FM Marked correlations are significant at $p < .05000$						
TEVÉKENYSÉG	Otthon	Munka	Utazás	Egyéb	Alvás	NAPI
Otthon	1,000000	0,086634	0,352684	0,297942	0,732409	0,717533
Munka	0,086634	1,000000	0,150761	-0,049567	0,105352	0,214685
Utazás	0,352684	0,150761	1,000000	0,443475	0,335277	0,694851
Egyéb	0,297942	-0,049567	0,443475	1,000000	0,259832	0,505093
Alvás	0,732409	0,105352	0,335277	0,259832	1,000000	0,687111
NAPI	0,717533	0,214685	0,694851	0,505093	0,687111	1,000000
Spearman Rank Order Correlations GSM 900 T Marked correlations are significant at $p < .05000$						
TEVÉKENYSÉG	Otthon	Munka	Utazás	Egyéb	Alvás	NAPI
Otthon	1,000000	0,176401	0,111446	0,173083	0,284026	0,536718
Munka	0,176401	1,000000	0,033540	-0,099629	0,051215	0,273842
Utazás	0,111446	0,033540	1,000000	0,424386	0,072662	0,570883
Egyéb	0,173083	-0,099629	0,424386	1,000000	0,203232	0,463724
Alvás	0,284026	0,051215	0,072662	0,203232	1,000000	0,306361
NAPI	0,536718	0,273842	0,570883	0,463724	0,306361	1,000000
Spearman Rank Order Correlations GSM 900 B Marked correlations are significant at $p < .05000$						
TEVÉKENYSÉG	Otthon	Munka	Utazás	Egyéb	Alvás	NAPI
Otthon	1,000000	-0,000618	0,145497	0,169135	0,730195	0,634957
Munka	-0,000618	1,000000	0,245384	0,189996	0,144447	0,266427
Utazás	0,145497	0,245384	1,000000	0,482231	-0,024336	0,490299
Egyéb	0,169135	0,189996	0,482231	1,000000	0,190644	0,467372
Alvás	0,730195	0,144447	-0,024336	0,190644	1,000000	0,596333
NAPI	0,634957	0,266427	0,490299	0,467372	0,596333	1,000000
Spearman Rank Order Correlations 3 G B Marked correlations are significant at $p < .05000$						
TEVÉKENYSÉG	Otthon	Munka	Utazás	Egyéb	Alvás	NAPI
Otthon	1,000000	-0,088499	-0,068758	-0,085084	0,370354	0,054833
Munka	-0,088499	1,000000	0,324996	0,055475	-0,126802	0,271241
Utazás	-0,068758	0,324996	1,000000	0,453796	-0,038869	0,612664
Egyéb	-0,085084	0,055475	0,453796	1,000000	0,193474	0,486301
Alvás	0,370354	-0,126802	-0,038869	0,193474	1,000000	0,135994
NAPI	0,054833	0,271241	0,612664	0,486301	0,135994	1,000000

M18. ábra: Tevékenységek közti korreláció a jelentősebb frekvenciasávokra

Lakosság

LSD test, FREKVENCIÁK
Probabilities for Post Hoc Tests
Error: Between MS = ,00005, df = 1224,0

Cell No.	FREKVENCIA	FM ,00277	TV-VHF ,00070	TETRA ,00072	TV-UHF ,00110	GSM 900 T ,00112	GSM 900 B ,00991	GSM 1800 T ,00099	GSM 1800 B ,00125	DECT ,00265	3G T ,00069	3G B ,00133	WLAN ,00115
1	FM		0,040268	0,042158	0,097881	0,102061	0,000000	0,078218	0,131622	0,907086	0,039733	0,155647	0,109041
2	TV-VHF	0,040268		0,984776	0,691662	0,676750	0,000000	0,771427	0,586248	0,053045	0,995578	0,527224	0,653163
3	TETRA	0,042158	0,984776		0,705787	0,690761	0,000000	0,786062	0,599442	0,056426	0,980354	0,539762	0,666983
4	TV-UHF	0,097881	0,691662	0,705787		0,983801	0,000000	0,915504	0,882579	0,123882	0,687579	0,813676	0,957909
5	GSM 900 T	0,102061	0,676750	0,690761	0,983801		0,000000	0,899413	0,898626	0,128912	0,672701	0,829469	0,974094
6	GSM 900 B	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000		0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
7	GSM 1800 T	0,078218	0,771427	0,786062	0,915504	0,899413	0,000000		0,799653	0,100049	0,767191	0,732517	0,873766
8	GSM 1800 B	0,131622	0,586248	0,599442	0,882579	0,898626	0,000000	0,799653		0,164173	0,582441	0,929887	0,924376
9	DECT	0,907086	0,053045	0,056426	0,123882	0,128912	0,000000	0,100049	0,164173		0,052369	0,192478	0,137286
10	3G T	0,039733	0,995578	0,980354	0,687579	0,672701	0,000000	0,767191	0,582441	0,052369		0,523610	0,649171
11	3G B	0,155647	0,527224	0,539762	0,813676	0,829469	0,000000	0,732517	0,929887	0,192478	0,523610		0,854869
12	WLAN	0,109041	0,653163	0,666983	0,957909	0,974094	0,000000	0,873766	0,924376	0,137286	0,649171	0,854869	

M19. ábra: Fisher LSD teszt a 12 frekvenciasávra

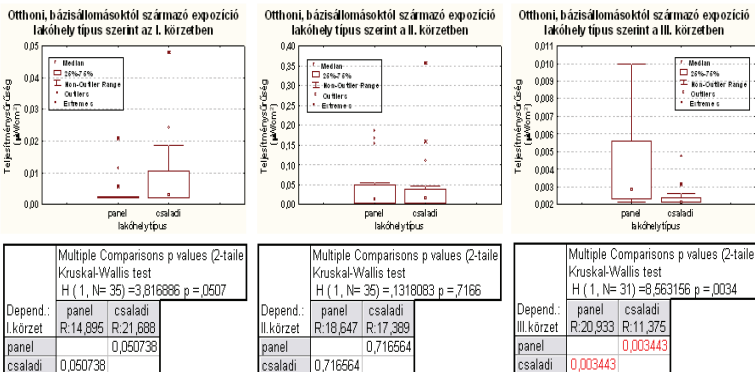
LSD test; Probabilities for Post Hoc Tests
Error: Between MS = ,00028, df = 306,00

Cell No.	Források	Telefonok ,00321	Egyéb források ,01021	Bázisállomások ,01312
1	Telefonok		0,003014	0,000031
2	Egyéb források	0,003014		0,215080
3	Bázisállomások	0,000031	0,215080	

M20. ábra: Fisher LSD teszt a források típusa szerint

Depend.: panel	Multiple Comparisons p values (2-tail) Kruskal-Wallis test H (2, N= 51) =16,89624 p =,0002			Depend.: családi	Multiple Comparisons p values (2-tail) Kruskal-Wallis test H (2, N= 53) =21,57927 p =,0000		
	I. körzet	II. körzet	III. körzet		I. körzet	II. körzet	III. körzet
	R:16,842	R:37,176	R:24,933		R:29,647	R:37,500	R:14,000
	I. körzet	0,000125	0,345215		I. körzet	0,398100	0,008211
II. körzet	0,000125		0,060243	II. körzet	0,398100		0,000015
III. körzet	0,345215	0,060243		III. körzet	0,008211	0,000015	

M21. ábra: Kruskal-Wallis teszt panellakásokban és családi házakban körzetenként



M22. ábra: Kruskal-Wallis teszt és ábrázolás körzetenként lakóhely típus szerint

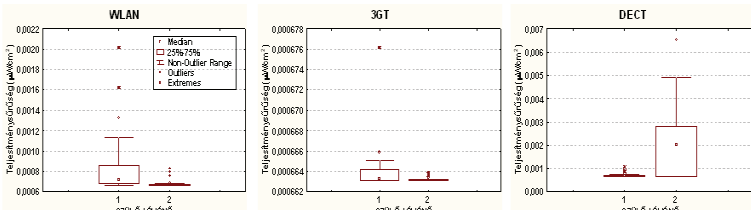
		Spearman Rank Order Correlations MD pairwise deleted Marked correlations are significant at $p < .05000$											
TELJES	napi	1,000000	0,859475	0,672150	0,642614	0,528831	0,827410						
	otthon	0,859475	1,000000	0,442509	0,440671	0,363922	0,776989						
	munka	0,672150	0,442509	1,000000	0,408250	0,494805	0,503441						
	utazás	0,642614	0,440671	0,408250	1,000000	0,438943	0,334743						
	egyéb	0,528831	0,363922	0,494805	0,438943	1,000000	0,315464						
	alvás	0,827410	0,776989	0,503441	0,334743	0,315464	1,000000						
		Spearman Rank Order Correlations MD pairwise deleted Marked correlations are significant at $p < .05000$											
NAPI	FM	TV-VHF	TETRA	TV-UHF	GSM 900 T	GSM 900 B	GSM 1800 T	GSM 1800 B	DECT	3G T	3G B	WLAN	Összes források
FM	1,000000	0,186287	0,206845	0,665530	-0,192420	0,251991	0,425799	0,238015	0,232628	0,148406	0,187593	0,452989	0,488772
TV-VHF	0,186287	1,000000	0,414365	0,314446	0,090046	0,341444	0,450843	0,296486	0,119855	0,323610	0,248728	0,139467	0,291461
TETRA	0,206845	0,414365	1,000000	0,372628	0,257340	0,320438	0,461006	0,572810	0,334489	0,366604	0,243612	0,191267	0,264608
TV-UHF	0,665530	0,314446	0,372628	1,000000	-0,179197	0,249699	0,579603	0,375044	0,183688	0,370118	0,259408	0,695623	0,446405
GSM 900 T	-0,192420	0,090046	0,257340	-0,179197	1,000000	0,050795	0,252491	0,052686	0,055191	0,032185	0,103329	-0,202881	0,073441
GSM 900 B	0,251991	0,341444	0,320438	0,249699	0,050795	1,000000	0,241460	0,364396	0,170593	0,005120	0,376855	0,106556	0,761925
GSM 1800 T	0,425799	0,450843	0,461006	0,579603	0,252491	0,241460	1,000000	0,565781	0,275218	0,331963	0,213966	0,462584	0,437160
GSM 1800 B	0,238015	0,296486	0,572810	0,375044	0,052686	0,364396	0,565781	1,000000	0,284101	0,316074	0,399640	0,237321	0,385451
DECT	0,232628	0,119855	0,334489	0,183688	0,055191	0,170593	0,275218	0,284101	1,000000	0,170685	0,086243	0,086240	0,369989
3G T	0,148406	0,323610	0,366604	0,370118	0,032185	0,005120	0,331963	0,316074	0,170685	1,000000	0,162924	0,374709	0,065495
3G B	0,187593	0,248728	0,243612	0,259408	0,103329	0,376855	0,213966	0,399640	0,086243	0,162924	1,000000	0,191732	0,500480
WLAN	0,452989	0,139467	0,191267	0,695623	-0,202881	0,106556	0,462584	0,237321	0,086240	0,374709	0,191732	1,000000	0,330972
Összes források	0,488772	0,291461	0,264608	0,446405	0,073441	0,761925	0,437160	0,385451	0,369989	0,065495	0,500480	0,330972	1,000000

M23. ábra: Korrelációanalízis

Óvoda

LSD test; NAPI														
Probabilities for Post Hoc Tests														
Error: Between MS = ,00000, df = 588,00														
Cell No.	FREKVENCIÁK	FM ,00066	TV-VHF ,00066	TETRA ,00066	TV-UHF ,00066	GSM 900 T ,00100	GSM 900 B ,00076	GSM 1800 T ,00076	GSM 1800 B ,00076	DECT ,00142	3G T ,00066	3G B ,00066	WLAN ,00077	
1	FM		0,998392	0,998278	0,997529	0,000036	0,258223	0,217721	0,695417	0,000000	0,996190	0,808430	0,172243	
2	VHF	0,998392		0,999886	0,995921	0,000035	0,257377	0,216971	0,693937	0,000000	0,994582	0,806889	0,171612	
3	TETRA	0,998278	0,999886		0,995807	0,000035	0,257317	0,216918	0,693932	0,000000	0,994468	0,806759	0,171567	
4	UHF	0,997529	0,995921	0,995807		0,000036	0,259527	0,218977	0,687694	0,000000	0,998661	0,810830	0,173216	
5	GSM900T	0,000036	0,000035	0,000035	0,000036		0,002519	0,003500	0,000186	0,000000	0,000036	0,000098	0,005292	
6	GSM900B	0,258223	0,257377	0,257317	0,259527	0,002519		0,918604	0,467874	0,000000	0,260236	0,374293	0,814292	
7	GSM1800T	0,217721	0,216971	0,216918	0,218977	0,003500	0,918604		0,407638	0,000000	0,219505	0,321912	0,894427	
8	GSM1800B	0,695417	0,693937	0,693832	0,687694	0,000186	0,467874	0,407638		0,000000	0,688930	0,870794	0,336740	
9	DECT	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000		0,000000	0,000000	0,000000	
10	3GT	0,996190	0,994582	0,994468	0,998661	0,000036	0,260236	0,219505	0,688930	0,000000		0,812131	0,173745	
11	3GB	0,808430	0,806889	0,806759	0,810830	0,000098	0,374293	0,321912	0,870794	0,000000	0,812131		0,261415	
12	WLAN	0,172243	0,171612	0,171567	0,173216	0,005292	0,814292	0,894427	0,336740	0,000000	0,173745	0,261415		

M24. ábra: LSD teszt frekvenciasávokra egész napra vonatkozóan



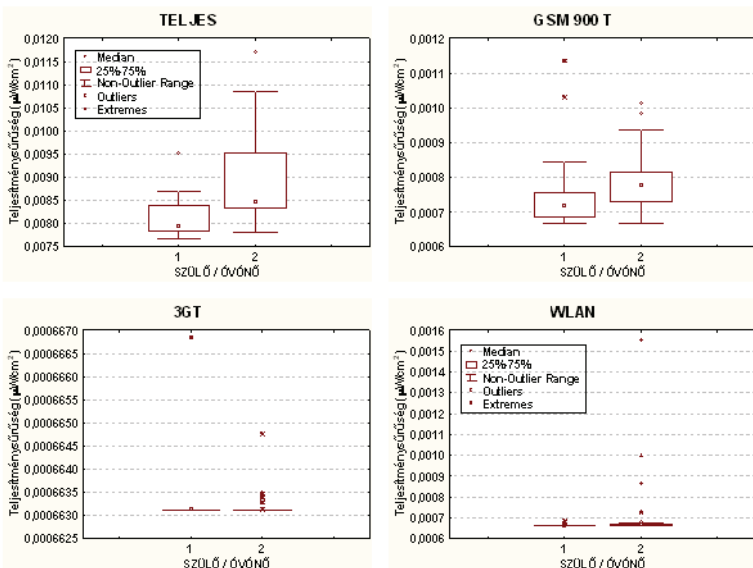
M25. ábra: Kruskal-Wallis tesztek eredményei frekvenciákra

		LSD test; TELJES				
		Probabilities for Post Hoc Tests				
		Error: Between MS = ,00013, df = 191,00				
Cell No.	TEVÉKENYSÉG	OTTHON ,01378	MUNKA ,00854	UTAZÁS ,01803	EGYÉB ,02704	ALVÁS ,00993
1	OTTHON		0,022935	0,069611	0,000267	0,100659
2	MUNKA	0,022935		0,000049	0,000023	0,543003
3	UTAZÁS	0,069611	0,000049		0,036922	0,000634
4	EGYÉB	0,000267	0,000023	0,036922		0,000093
5	ALVÁS	0,100659	0,543003	0,000634	0,000093	

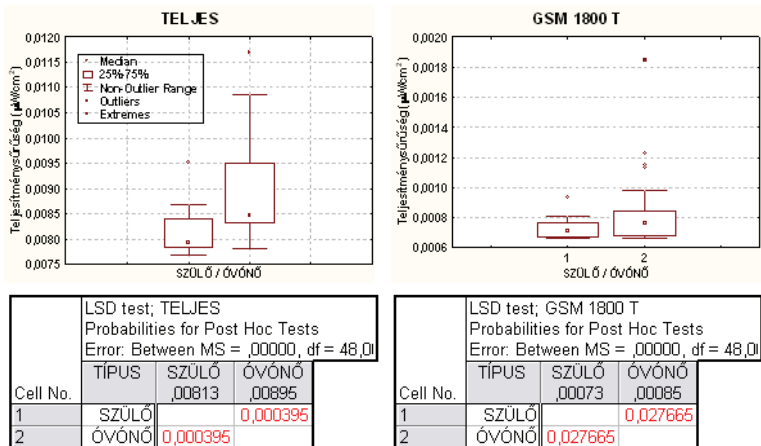
M26. ábra: LSD teszt tevékenységekre a teljes expozíciót tekintve

		LSD test; MUNKA											
		Probabilities for Post Hoc Tests											
		Error: Between MS = ,00000, df = 588,00											
Cell No.	FREKVENCIA	FM ,00066	TV-VHF ,00066	TETRA ,00066	TV-UHF ,00066	GSM 900 T ,00077	GSM 900 B ,00072	GSM 1800 T ,00079	GSM 1800 B ,00067	DECT ,00071	3G T ,00066	3G B ,00067	WLAN ,00070
1	FM		0,999318	0,999834	0,999898	0,000000	0,007960	0,000000	0,889107	0,022705	0,995476	0,691204	0,105928
2	VHF	0,999318		0,999152	0,999216	0,000000	0,007980	0,000000	0,889793	0,022755	0,996158	0,691835	0,106113
3	TETRA	0,999834	0,999152		0,999936	0,000000	0,007955	0,000000	0,888943	0,022692	0,995310	0,691051	0,105884
4	UHF	0,999898	0,999216	0,999936		0,000000	0,007957	0,000000	0,889006	0,022697	0,995374	0,691110	0,105901
5	GSM900T	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000		0,006103	0,425804	0,000000	0,001831	0,000000	0,000001	0,000162
6	GSM900B	0,007960	0,007980	0,007955	0,007957	0,006103		0,000417	0,000417	0,011886	0,705199	0,008093	0,023848
7	GSM1800T	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,425804	0,000417		0,000000	0,000000	0,000036	0,000000	0,000005
8	GSM1800B	0,889107	0,889793	0,888943	0,889006	0,000000	0,011886	0,000000		0,032371	0,032371	0,893589	0,796557
9	DECT	0,022705	0,022755	0,022692	0,022697	0,001831	0,705199	0,000036	0,032371		0,023042	0,023042	0,138472
10	3G T	0,995476	0,996158	0,995310	0,995374	0,000000	0,008093	0,000000	0,893589	0,023042		0,695389	0,107154
11	3G B	0,691204	0,691835	0,691051	0,691110	0,000001	0,023848	0,000000	0,796557	0,059658	0,695389		0,222258
12	WLAN	0,105928	0,106113	0,105884	0,105901	0,000162	0,297091	0,000005	0,138472	0,506233	0,107154	0,222258	

M27. ábra: LSD teszt frekvenciákra az óvodai expozíciót tekintve



M28. ábra: Csoportok közötti összehasonlítások frekvenciákra



M29. ábra: Csoportok közötti páros összehasonlítások frekvenciákra

		Spearman Rank Order Correlations						
		MD pairwise deleted						
		Marked correlations are significant at p < ,05000						
TELJES		Otthon	Munka	Utazás	Egyéb tevékenységek	Alvás	NAPI	
Otthon		1,000000	0,071477	0,307697	0,119048	0,590532	-0,209744	
Munka		0,071477	1,000000	0,210559	-0,428571	0,271951	-0,185978	
Utazás		0,307697	0,210559	1,000000	-0,238095	0,307004	-0,225422	
Egyéb tevékenységek		0,119048	-0,428571	-0,238095	1,000000	-0,285714	0,285714	
Alvás		0,590532	0,271951	0,307004	-0,285714	1,000000	-0,510039	
NAPI		-0,209744	-0,185978	-0,225422	0,285714	-0,510039	1,000000	

		Spearman Rank Order Correlations													
		MD pairwise deleted													
		Marked correlations are significant at p < ,05000													
NAPI	FM	TV-VHF	TETRA	TV-UHF	GSM 900 T	GSM 900 B	GSM 1800 T	GSM 1800 B	DECT	3G T	3G B	WLAN	TELJES		
FM	1,000000	0,327995	0,526269	0,492877	0,268466	0,418953	0,206707	0,528435	0,102503	0,541209	0,456669	0,456649	0,157685		
TV-VHF	0,327995	1,000000	0,510325	0,516247	0,217854	0,371508	0,200367	0,221668	0,293375	0,219726	0,164850	0,049654	-0,068645		
TETRA	0,526269	0,510325	1,000000	0,495371	0,218025	0,484580	0,296858	0,366880	0,272908	0,395307	0,339377	0,154155	0,052565		
TV-UHF	0,492877	0,516247	0,495371	1,000000	0,293858	0,518355	0,435478	0,593250	0,287776	0,505762	0,568203	0,355942	0,159896		
GSM 900 T	0,268466	0,217854	0,218025	0,293858	1,000000	0,377468	0,214598	0,482542	0,708300	0,227026	0,426128	0,163329	-0,198079		
GSM 900 B	0,418953	0,371508	0,484580	0,518355	0,377468	1,000000	0,342397	0,701368	0,278604	0,208220	0,739699	0,158507	0,040884		
GSM 1800 T	0,206707	0,200367	0,296858	0,435478	0,214598	0,342397	1,000000	0,377334	0,243031	0,103377	0,483160	0,151803	-0,029532		
GSM 1800 B	0,528435	0,221668	0,366880	0,593250	0,482542	0,701368	0,377334	1,000000	0,399861	0,455038	0,888122	0,498594	0,042967		
DECT	0,102503	0,293375	0,272908	0,287776	0,708300	0,278604	0,243031	0,399861	1,000000	0,205648	0,339197	0,216785	-0,338728		
3G T	0,541209	0,219726	0,395307	0,505762	0,227026	0,208220	0,103377	0,455038	0,205648	1,000000	0,312548	0,540348	0,137560		
3G B	0,456669	0,164850	0,339377	0,568203	0,426128	0,739699	0,888122	0,339197	0,312548	0,312548	1,000000	0,476334	0,129102		
WLAN	0,456649	0,049654	0,154155	0,355942	0,163329	0,158507	0,151803	0,498594	0,216785	0,540348	0,476334	1,000000	0,228161		
TELJES	0,157685	-0,068645	0,052565	0,159896	-0,198079	0,040884	-0,029532	0,042967	-0,338728	0,137560	0,129102	0,228161	1,000000		

		Spearman Rank Order Correlation	
		MD pairwise deleted	
		Marked correlations are significant	
NAPI-TELJES		CSALÁD	ŐVÓNÓ
CSALÁD		1,000000	0,440769
ŐVÓNÓ		0,440769	1,000000

		Spearman Rank Order Correlation	
		MD pairwise deleted	
		Marked correlations are significant	
MUNKA-TELJES		CSALÁD	ŐVÓNÓ
CSALÁD		1,000000	0,587146
ŐVÓNÓ		0,587146	1,000000

M30. ábra: Korrelációanalízis